ISSN 1405-0471

Madera y Bosques



INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C.

VERANO
2 0 1 0 16(2)
Xalapa, Ver.

MADERA y BOSQUES
Vol. 16 Núm. 2 **Verano de 2010**

Madera y Bosques, es una publicación del Instituto de Ecología, A.C., que edita la Unidad de Recursos Forestales. Los trabajos que publica tratan los temas de tecnología de productos forestales y del campo forestal en general, con énfasis en ecología forestal y manejo forestal. Se aceptan trabajos en español, inglés y ocasionalmente en otros idiomas. Su objetivo principal es constituirse en un medio de difusión de la investigación científica. Asimismo, publica contribuciones técnicas y estados del arte que incidan en el medio nacional e internacional. Es una publicación trimestral que aparece en primavera, en verano, en otoño y en invierno. Ocasionalmente se ofrecerá un número especial.

Madera y Bosques, Vol. 16 Núm. 2 de 2010. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2005-062018152600-102. Número de Certificado de Licitud de Título: 12906. Número de Certificado de Licitud de Contenido: 10479. Domicilio de publicación: Carretera Antigua a Coatepec No. 351. El Haya. 91070 Xalapa, Ver., México. Imprenta: Editorial Cromocolor S.A. de C.V., Miravalles 703. Col. Portales 03300 México, D.F.
La suscripción anual para 2010 es de $450.00+$150.00 gastos de envío al interior de la República y $45.00 USD al extranjero. Precio por ejemplares sueltos $160.00 y $15.00 USD, respectivamente. Incluye costos de envío por correo aéreo. Suscripciones en México en International Magazine Subscriptions, Tenochtitlan No. 26 L10 M7, Ampl. Tlacuitlapa, 01650 México, D.F. México, Tel/Fax?55) 5643-2939, ce:mmaximomx@yahoo.com.mx. Donaciones e intercambios, en el Instituto de Ecología, A.C., al c.e:libros@inecol.edu.mx. La reproducción total o parcial de los artículos podrá hacerse con el permiso expreso de los editores. Esta revista forma parte de los índices y portales de difusión ISI Web of Science (Science Citation Index Expanded), Revistas Mexicanas de Investigaciones en Ciencia y Tecnología (IRMICyT) del CONACYT, Redalyc, Dialnet, Periódica, Índice Iberoamericano de Información en Ciencia y Tecnología, SCOPUS, Actualidad Iberoamericana, CAB Forest Products Abstracts, Latindex, Seriunam y British Library.

MADERA Y BOSQUES

Vol.16 Núm. 2 Verano de 2010

CONTENIDO



Nuestra portada: “Después de la milpa, la leña”. Campesino recolectando leña en la localidad de Molas, municipio de Mérida, Yucatán.

Autor: Joaquín Quiroz-Carranza.

MADERA Y BOSQUES

Vol.16 Num. 2 Summer 2010

TABLE OF CONTENTS



Our cover: “After the harvest, the fire-wood”. Peasant collecting firewood in Molas, Merida, Yucatan.

Autor: Joaquín Quiroz-Carranza.

En un trabajo reciente, dos investigadoras del Instituto Politécnico Nacional se propusieron medir el porcentaje de participación de las mujeres en la publicación de artículos en revistas científicas mexicanas enfocadas a la investigación de las ciencias ambientales[1]. *Madera y Bosques* fue una de las revistas evaluadas. Las conclusiones del estudio permitieron a estas investigadoras afirmar que la participación de las mujeres en estas ramas del quehacer científico es menor que la de los hombres. Esta diferencia es más pequeña en el área de las ciencias naturales que en las sociales. *Madera y Bosques* está entre las cuatro revistas de las 14 analizadas donde la participación femenina es mayor. Esta tendencia se ve reforzada sustancialmente en este número donde en el 50% de los casos, la autora principal es una mujer y cuando menos en un caso, todas las autoras son mujeres. La amplia participación de la mujer en esta revista está a tono con la conformación del equipo de edición y producción editorial. *Madera y Bosques* históricamente ha sido hecha mayoritariamente por mujeres en todas las áreas: como co-editoras, editoras adjuntas, editoras asociadas, apoyo técnico, producción editorial, formación editorial, apoyo secretarial, etc. Las mujeres han ocupado más del 70% de los puestos en la revista, en sus diversas fases y épocas. Hasta en la imprenta donde se producen los ejemplares las empresarias son todas mujeres. En este mes de mayo que en México y otros países occidentales de festeja el día de las madres, resulta merecido expresar nuestro reconocimiento a las compañeras que han hecho posible que *Madera y Bosques* ocupe en lugar muy destacado en la difusión de las ciencias forestales de México e Iberoamérica. Afortunadamente, esta revista no es la excepción pues otras destacadas revistas que abordan esta temática o asuntos similares, también están a cargo de mujeres investigadoras-docentes-editoras, particularmente la Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente y el Boletín de la Sociedad Botánica de México, donde ellas ocupan los cargos de dirección, además de las mujeres que las apoyan en las diversas áreas editoriales. Enhorabuena por esta brillante y consistente participación femenina en la difusión de la ciencia en México.

Por lo que respecta a los artículos incluidos en este número, cabe mencionar que en esta ocasión, todos los trabajos se efectuaron en México, aunque cuando menos en uno de los casos, con la participación de investigadores extranjeros. Cuatro de los trabajos se refieren a especies maderables que crecen en la parte sur de México, en ambientes tropicales principalmente y solamente uno se refiere a especies de clima templado. El primer artículo trata sobre el efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble, tema de gran relevancia para la reforestación de las áreas tropicales en México. Se evaluaron las características de las plántulas que se utilizan en trabajos de reforestación, incluyendo la relación tallo/raíz de la plántula, buscando identificar aquellas que de mejor manera puedan producir los resultados deseados: alta supervivencia y buen crecimiento en campo. Se describen las características de plántulas de estas maderas bajo dos densidades y dos sustratos en vivero. Se hace la recomendación de efectuar más pruebas de trasplante en campo utilizando varios valores de tallo/raíz para poder identificar aquellas características externas de las plántulas que permitan seleccionar, antes de llevarlas al campo, las que tengan las mayores posibilidades de soportar el tras-

1 Palomino Villavicencio y Gómez Villarreal. 2009. Investigación, medio ambiente y mujer en México. Un acercamiento hemerográfico. Memorias. 9° Congreso Internacional Retos y Perspectivas de la Universidad. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. CIRYEU-2009-031. 18 al 20 de junio de 2009.

plante y crecer rápidamente. Otro trabajo aborda el tema del crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. El objetivo de este trabajo es generar información sobre el crecimiento de dicha especie arbórea y establecer las bases científicas para su manejo racional. Entre los resultados más relevantes de este estudio, se determinó que herramientas como la banda dendrométrica apoyada en modelos de regresión son de gran utilidad para el registro y proyección del incremento en diámetro de la especie estudiada. Los resultados obtenidos sugieren que *Z. kellermanii* es susceptible de utilizarse en programas de manejo sustentable y recuperación forestal en el área del estudio aquí publicado. El tercer manuscrito se refiere a la evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus).* El objetivo de este estudio es analizar el secado técnico convencional de esta madera utilizando un diseño factorial 2^2. Las variables respuesta evaluadas fueron: tiempo de secado y calidad de la madera seca. De acuerdo con los resultados obtenidos, el tiempo de secado es afectado por la intensidad del programa, y la calidad de la madera depende del programa de secado y de la velocidad del aire.

El siguiente trabajo consistió en un estudio sobre el uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. En este proyecto se analizó el patrón de preferencias en el uso de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán mediante la aplicación de cuestionarios estructurados a informantes clave y muestreos en los sitios de extracción. Con los resultados obtenidos, se puede afirmar que la leña es el energético doméstico más importante en las localidades y debe ser considerada como un tema fundamental en las agendas académicas y de desarrollo regional en la península de Yucatán. Adicionalmente, se presenta un trabajo sobre la variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). Se describen las características anatómicas de esta madera y se evalúa estadísticamente la variación anatómica de nueve caracteres cuantitativos de su madera en función de la altura y diámetro del tallo, de la altitud y de 11 parámetros climáticos en cuatro localidades. El análisis de los resultados sugiere que se debe tomar en cuenta la procedencia microclimática de las poblaciones para hacer recomendaciones de uso de la madera de *Q. obtusata* o para planes de reforestación. El último trabajo es un interesante análisis teórico sobre la forma del tronco del árbol. Se muestra la derivación de una ecuación de volumen general de la sección de sólidos de revolución truncados. Este trabajo podría contribuir a mejorar la comprensión la teoría clásica de la forma del árbol, la cual sigue estando presente en la enseñanza de medición e investigación forestal.

Con este número, se completa la primera mitad de los trabajos que se publicarán este año en *Madera y Bosques*, que como informamos en el número pasado, a partir de 2010 tiene una periodicidad trimestral para atender la enorme demanda de publicación de manuscritos que afortunadamente se ha generado. Utilizo el término '*afortunadamente*' de manera deliberada para festejar el hecho de que año con año aumenta el interés de publicar resultados de investigaciones sobre temas forestales, tanto en *Madera y Bosques* como en otras revistas del mismo corte, lo cual indica que hay un mayor número de investigaciones de calidad en al área de influencia de esta revista. Enhorabuena igualmente por este reavivado interés de generar y publicar investigación de calidad en esta región del mundo. Solamente con este tipo de esfuerzos podemos aspirar a superar el atraso que, lamentablemente, parece sempiterno y que nos aún nos agobia.

Raymundo Dávalos-Sotelo
Editor

In a recent paper, two researchers from the National Polytechnic Institute set out to measure the percentage of participation of women in the publication of articles in Mexican scientific journals focused on environmental science research[1]. *Madera y Bosques* was one of the journals included in the study. The conclusions of the paper allowed these researchers to assert that the participation of women in these branches of scientific work is less than that of men. This difference is smaller in the area of natural sciences than in social sciences. *Madera y Bosques* is among the four journals of the 14 analyzed where female participation is higher. This trend is enhanced substantially in this issue where in 50% of cases, the lead author is a woman and at least in one case, all the authors are women. The broad participation of women in this journal is in tune with the current makeup of its team of editing and publishing. *Madera y Bosques* has historically been done mostly by women in all areas: as co-editors, deputy editor, associate editor, technical support, publishing, editorial support, secretarial support, etc. Women have occupied over 70% of the seats in the magazine, in its various phases and periods. Even in the printers' office, where they produce the printed issues, all entrepreneurs are women. In this month of May when in Mexico and other Western countries we all celebrate Mother's Day, it is well deserved to express our appreciation to our colleagues who have made it possible for Madera y Bosques to hold a very high profile in the dissemination of forestry science in Mexico and Latin America. Fortunately, this journal is no exception as other leading journals that address this issue or similar issues, are also in charge of women researchers-teachers-editors, particularly the Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente and the Boletín de la Sociedad Botánica of Mexico, where they occupy the leadership positions, in addition to the women who support them on the various areas of publishing. Congratulations for this brilliant and consistent participation of women in the dissemination of science in Mexico.

With respect to the articles in this issue it should be mentioned that this time, all the work is carried out in Mexico, although at least in one case, with the participation of foreign researchers. Four of the works relate to timber species growing in the southern part of Mexico, mainly in tropical environments and only one refers to temperate species. The first paper deals with the effect of substrate and density on the quality of seedlings of Spanish cedar, mahogany and roble (*Tabebuia*), a subject of the utmost importance in the tasks of reforestation of tropical areas in Mexico. Characteristics of seedlings out planted, including shoot/root ratio were studied aiming to identify such species which allows obtaining the desired results of high survival and good growth after transplanting. This study describes the characteristics of these species when planted at two densities and in two substrates in a nursery. It is recommended more transplant tests in the field with seedlings with several shoot/root ratios in order to identify some external characteristics to allow the selection, before out planting of seedlings for greater probabilities of surviving the transplanting and for growing rapidly.

1 Palomino Villavicencio y Gómez Villarreal. 2009. Investigación, medio ambiente y mujer en México. Un acercamiento hemerográfico. Memorias. 9º Congreso Internacional Retos y Perspectivas de la Universidad. Instituto Politécnico Nacional. México, D.F. CIRYEU-2009-031. 18 al 20 de junio de 2009.

The second paper studies the diameter growth of *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson in a tropical evergreen forest of northern Oaxaca, Mexico. The purpose of this study is to contribute to the generation of knowledge about the growth of this tree species and contribute towards building a solid scientific base for their rational management. Among the most relevant results, it was determined that tools such as dendrometric bands along with regression models, proved to be useful to determine and project the diameter increment of the species studied. The results suggest that *Z. kellermanii* could be used in sustainable forest management and restoration programs in the studied region. The third paper deals with the evaluation of drying schedules for chalamite wood (*Pinus pseudostrobus*). The aim of this study is to analyze the kiln-drying of this wood using a 2^2 factorial design. Drying time and quality of wood were the responses evaluated. According to the results, the drying time is affected by the schedule intensity, and the wood quality depends on the drying schedule and air velocity.

The next paper refers to the use and management of firewood in dwellings of six localities from Yucatán, México. The consumption patterns of domestic firewood was analyzed in many homes of six localities of Yucatan, Mexico, through questionnaires structured applied key informants and field samplings in the extraction sites. From the results of this paper, it can be said that the firewood represents the most important source of domestic energy in rural communities, and should be considered as a fundamental topic in the academic researches and in regional development planning. The next paper studies the anatomical variation in *Quercus obtusata* (Fagaceae) wood. This wood is described and the variation of nine quantitative wood characters is evaluated through tree height and diameter, elevation and 11 climatic parameters in four sites. The statistical analysis suggests that the microclimatic parameters of each location need to be accounted when recommendations for Q. *obtusata* wood used as raw material or in reforestation programs are given. Finally, this last work refers to the classical theory of tree stem form. It shows the derivation of a general sectional volume equation for frustums of solids of revolution. This work could contribute to improve the understanding on the classical theory of tree stem form which still continues being present in the forest measurement teaching and research.

This issue completes the first half of the works to be published this year in *Madera y Bosques*, which as reported in the last issue, from 2010 on has a quarterly basis to meet the large demand for publication of manuscripts that fortunately are being generated. I use the term ‘fortunately’ deliberately to celebrate the fact that each year there is a higher interest in publishing results of research on forestry issues, both in Madera y Bosques and in other journals of the same type, which indicates that there is a greater number of quality research produced in the area of influence of this journal. Congratulations are also in order for this revived interest to create and publish quality research in this region of the world. Only through such efforts can we hope to overcome underdevelopment, which unfortunately, seems eternal and that still overwhelms us.

Raymundo Dávalos-Sotelo
Editor

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble

Effect of substrate and density on the quality of seedlings of Mexican cedar, mahogany and *roble (Tabebuia)*

Patricia Negreros-Castillo[1], Maribel Apodaca-Martinez[2] y Carl W. Mize[3]

RESUMEN

La reforestación en México es importante para recuperar la producción de las áreas deforestadas y degradadas y para mantener la de los bosques comerciales. Sólo 40% de la reforestación tienen un nivel aceptable de supervivencia. Las características de las plántulas que se utilizan, incluyendo la relación tallo/raíz de la plántula, deben tomarse en cuenta para lograr los resultados deseados (alta supervivencia y buen crecimiento en campo). Se describen las características de plántulas de *Swietenia macrophylla* King, *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea* (Bertol.) DC bajo dos densidades (100 y 50 plantas/m^2) y dos sustratos [suelo y suelo + composta (*S+C*)] en vivero. El tratamiento *S+C* tuvo un efecto significativo en el crecimiento del diámetro, altura, peso de la raíz y la relación tallo/raíz de cada una de las especies. En suelo 76% de las plántulas tienen la relación tallo/raíz =< 3 y en *S+C* 21% presentaron una relación tallo/raíz < 3. Para coníferas se recomienda tallo/raíz 2:1 para sitios secos y 4:1 para húmedos. Para las latifoliadas no se sabe cual es la relación tallo: raíz óptima. Dos meses después de llevarlas a campo, murieron más plántulas de *Swietenia* en *S+C* pero menos plántulas de *Cedrela* y *Tabebuia*. De las tres especies murieron las más pequeñas.

PALABRAS CLAVE:
Maderas tropicales, reforestación, relación tallo/raíz, vivero forestal

ABSTRACT

Reforestation in Mexico is important to recuperate the productivity of deforested and degraded areas and to maintain that of commercial forests. Only 40% of reforested areas have an acceptable level of survival. Characteristics of seedlings out planted, including shoot/root ratio, are essential factors for achieving the desired results of high survival and good growth after transplanting. This study describes the characteristics of mahogany (*Swietenia macrophylla* King), Spanish cedar (*Cedrela odorata* L.) and "roble" (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC when planted at two densities (100 and 50 plants/m^2) and in two substrates [soil, and soil + compost (*S+C*)] in a nursery. The *S+C* treatment had a significant effect on diameter, height, root biomass and the shoot/root ratio. In soil 76% of seedlings had a shoot/root ratio of 3.0 or less and in *S+ C*, 21% of seedlings had a ratio less than 3.0. For conifers a ratio of 2/1 is recommended for dry sites and 4/1 for humid sites. For broadleaves the optimum shoot/root ratio is not known. Two months after transplanting in the field more *Swietenia* produced with the *S+C* treatment died but less *Cedrela and Tabebuia* seedlings did. For the three species the seedlings that died were smaller.

KEY WORDS:
Tropical woods, Reforestation, shoot/root ratio, forest nursery

1 INIFOR. Universidad Veracruzana. c.e.: pnegreros@uv.mx.
2 INIFOR. Universidad Veracruzana. c.e.: apodaca2109@yahoo.com.mx
3 NREM. Iowa State University. c.e.: carlmize@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La reforestación en México es una actividad importante, impulsada para contribuir a recuperar la producción de las áreas deforestadas y degradadas, así como para mantener la productividad de los bosques bien manejados. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos públicos y privados a nivel nacional, solo 40% de las áreas reforestadas tienen un nivel aceptable de supervivencia y calidad (forma y estado de salud de los árboles) (Ortega *et al.*, 2001; Wightman y Cruz, 2003; Luis *et al.*, 2004).

Son muchos y variados los factores que determinan el éxito de una plantación forestal, entre ellos están selección adecuada de la especie para la localidad geográfica, calidad genética, origen y manejo de la semilla, proceso de germinación, época de siembra, cuidados o manejo de la plantas antes (transporte) y durante la siembra y forma de siembra (Peñuelas y Ocaña, 1996; Montoya y Cámara, 1996). Sería muy difícil lograr las condiciones óptimas de cada factor que influye en el éxito de la plantación, ya que unos están completamente fuera del control humano, por ejemplo, el clima. Sin embargo un factor que muchas veces pasan por alto los propios viveristas y que permitiría un mejor establecimiento de los árboles, es la calidad de las plántulas.

La calidad de las plántulas está relacionada con su posibilidad de morir y su potencial de crecimiento después del transplante en el campo. Sembrar plántulas de buena calidad puede reducir, en forma importante, los efectos de los factores limitantes del sitio de plantación en el establecimiento y crecimiento inicial (Peñuelas y Ocaña, 1996; Montoya y Cámara, 1996; Ortega *et al.*, 2006). Es decir, la calidad de las plántulas está asociada a la capacidad fisiológica de las mismas para adaptarse a su nuevo ambiente y crecer a su máximo potencial. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que la calidad de plántulas no es un concepto absoluto, por lo cual resulta difícil establecer métodos sencillos para determinar la calidad de plántulas forestales (Sánchez y Murillo, 2004).

El concepto de calidad de planta se relaciona directamente con las etapas iniciales de crecimiento de un árbol. La vida del nuevo árbol se inicia con el proceso de germinación, la cual se lleva a cabo cuando las semillas no se encuentran en letargo y tienen un embrión vivo no quiescente, capaz de producir una nueva planta, o germinar. Después de que las reservas de la semilla se han agotado o los cotiledones se transformaron en hojas para llevar a cabo la fotosíntesis, existe lo que se puede considerar una plántula completa. A partir de esta etapa, para continuar su desarrollo, el árbol requiere de los nutrientes, humedad y energía solar presentes en el sitio de crecimiento (Hartmann *et al.*, 1985). En esta etapa debe existir un "balance" en crecimiento de los componentes de la plántula (tallo, raíz y hojas), que está controlado tanto por su información genética como por el ambiente en el que se encuentre (el vivero). En gran medida, de este balance va a depender el desempeño de la plántula en el campo, que se reflejará en la capacidad de las raíces para captar agua y nutrimentos del suelo (o sustrato en el vivero), y de la parte aérea o foliar para absorber energía luminosa mediante la clorofila y toma bióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera para iniciar el proceso de la fotosíntesis (Rojas, 1959; Galston y Bonner, 1965; Devlin, 1980).

En esta etapa inicial en la vida del árbol, los productos de la fotosíntesis son utilizados por la plántula, a través de los procesos de respiración, de acuerdo con prioridades de crecimiento y supervi-

vencia características de esta etapa. En una plántula la prioridad principal está en la formación de nuevas hojas, las fábricas de energía de las plantas, y yemas para incrementar la actividad fotosintética. Casi al mismo nivel de importancia está la formación de "raíces nuevas" que complementan la función de la fotosíntesis al "capturar" para la planta los nutrientes y humedad que se encuentran en el suelo y que son indispensables para sintetizar (entre otros compuestos) las unidades o compuestos de crecimiento. Cuando la demanda de los productos de la fotosíntesis (carbohidratos) para la formación de nuevas hojas y raíces es satisfecha, el siguiente nivel de prioridad es el crecimiento en altura lo que le permite a la joven planta mantener un nivel satisfactorio de captación de energía lumínica. El siguiente nivel de prioridad es el crecimiento en diámetro (Galston y Bonner, 1965).

Por lo tanto el objetivo del viverista es producir plántulas "de calidad", es decir con un balance adecuado de sus componentes (tallo, raíz y hojas) para lograr una probabilidad alta de supervivencia y buen crecimiento inicial después del transplante en campo. El viverista cuenta con una variedad de herramientas y técnicas, como la mejora de los sustratos, densidad de cultivo, riego, poda aérea y de raíz, fertilización y uso de micorrizas (Duryea, 1984; Trejo *et al.*, 2007) para modificar el balance de los componentes de las plántulas y lograr que se incrementen las posibilidades de supervivencia y crecimiento de las mismas, es decir el viverista puede producir "plántulas de calidad". Las características de dichas plántulas varían considerablemente entre especies y dependen de las condiciones del sitio en que serán transplantadas, pero una característica comúnmente encontrada como importante indicador de "calidad" es el balance del tamaño de la parte área y el tamaño de la raíz (razón tallo/raíz) (Devlin, 1980; Montaldi, 1995)

Este trabajo se enfoca en las plántulas de tres especies forestales tropicales: caoba (*Swietenia macrophylla* King), cedro (*Cedrela odorata* L.) y roble (*Tabebuia rosea* (Bertol.) DC.). Las tres son de gran importancia económica para México y toda América Latina.

OBJETIVOS

1. Evaluar la respuesta de tres especies forestales tropicales al uso de dos tipos de sustratos y dos densidades de siembra en vivero.

2. Identificar parámetros de calidad de las especies estudiadas que permitan seleccionar las plántulas antes llevarlas a campo. Este objetivo no se pudo lograr por las razones que se explican más adelante.

METODOLOGÍA

El trabajo se realizó en tres fases: la primera se llevó a cabo en un vivero, donde se produjeron las plántulas de las tres especies forestales; la segunda se llevó a cabo en un laboratorio, donde se hizo un análisis destructivo, y la tercera en un terreno del municipio de Sayula, que consistió en el trasplante de las plántulas.

En el vivero "El Refugio" se llevó a cabo la primera fase del estudio, éste se localiza en la carretera transítsmica Acayucan-Salina Cruz, en el Ejido Quetzalapa, municipio de San Juan Evangelista (5 km de la comunidad Campo Nuevo). Este vivero pertenece al programa forestal del estado de Veracruz (Sedarpa). Las coordenadas son 17° 53" de latitud norte y 95° 08" de longitud oeste y la altitud es de 20 msnm. Su clima es tropical (*Aw*), con temperatura promedio

de 25 º C y precipitación pluvial media anual de 1500 mm (García, 1973).

Típicamente en la mayoría de los viveros en México las plántulas se producen en bolsas de plástico negro, así se hizo en este estudio. Las dimensiones de bolsa más comunes en la región sur de Veracruz son 10 cm de diámetro por 20 cm de alto. Se utilizaron dos tipos de sustratos y dos densidades de cultivo. El primer tipo de sustrato se denominó como "suelo" que corresponde al suelo típico que utiliza el vivero, en este caso es tipo arenoso casi en un 100%, y el segundo se denominó "suelo + composta" (*S*+*C*), ya que corresponde a una mezcla de suelo típico más composta, en una relación 1:1. La composta utilizada se preparó en el vivero siguiendo el método de camas aproximadamente 30 cm arriba del nivel del suelo, en las que se mezcla biomasa verde con estiércol (de cualquier especie pecuaria, en este caso se usó de bovino), y que produce el resultado en sólo 3 meses (Wightman, 1999).

En cuanto a la densidad, el primer tratamiento se denominó "100%" que es la forma tradicional en la que se colocan las bolsas en los viveros. Es decir las bolsas se colocaron unas pegadas a las otras (aproximadamente 100 bolsas por m^2). El segundo tratamiento de densidad se denominó "50%". Este tratamiento consistió en acomodar las bolsas de tal forma que se conservara un espacio vacío entre dos bolsas aproximadamente de 8 a 10 cm, es decir, una bolsa sí y otra no (aproximadamente 50 bolsas por m^2). Para proporcionar soporte a las bolsas y evitar su caída se utilizó malla borreguera de 1,2 m x 5 m con cavidades de 10 cm x 10 cm.

En los alrededores del vivero, en un radio de aproximadamente 300 m se colectaron las semillas de cedro (15 de abril de 2006) y las de roble (22 de mayo de 2006). Ambas colectas fueron realizadas por personal del vivero "El Refugio" de manera tradicional, colectando aproximadamente de 10 árboles. La semilla de caoba fue proporcionada por el campo experimental forestal San Felipe Bacalar del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias de Quintana Roo, el día 20 de abril del año 2006, colectada 25 días antes. El proceso para las semillas fue el típico que sigue el vivero, para el secado se realizó al sol directo, y para la limpieza se lanzan al aire las semillas para separar impurezas.

La germinación de las tres especies se llevó a cabo en un almácigo. El tratamiento pre-germinativo fue el mismo para el cedro y el roble y consistió en remojar la semilla en agua corriente durante 24 horas. La caoba no recibió ningún tratamiento pre-germinativo. Las tres especies se sembraron al voleo en una cama de almácigo de 15 cm de profundidad, cuyo sustrato consistió en una mezcla de suelo de vivero y composta al 1:1. Las cama del almácigo se cubrieron con una capa de hojas de casuarina (*Casuarina equisetifolia* L.) para acelerar la germinación. La fecha de transplante fue diferente para cada especie debido a la diferencia del periodo de germinación entre ellas. La caoba se transplantó el 20 de abril, el cedro el día 12 de mayo y el roble el día 14 de junio de 2006. El transplante se realizó cuando las plantas alcanzaron el tamaño utilizado para este tipo de práctica, que en este vivero es de 10 cm. De esta forma la caoba, el cedro y el roble se transplantaron a los 45, 24 y 20 días después de la siembra respectivamente.

El diseño experimental utilizado fue el de parcelas subdivididas con tres repeticiones (bloques). En cada uno de los tres bloques, las parcelas grandes fueron ocupadas por las especies (caoba, cedro y roble), los sub-tratamientos (densidad 100% y densidad 50%) se aplicaron a las

parcelas medianas (grande dividida en dos) y los sub-tratamientos (suelo y *S+C*) se aplicaron a las parcelas chicas (mediana dividida en dos).

Durante el periodo de crecimiento de las tres especies, se realizaron principalmente dos labores de cultivo: el riego y el deshierbe. El riego fue realizado por el personal del vivero de manera tradicional, es decir cada tercer día, variando la frecuencia con la presencia de lluvias. El deshierbe se realizó de manera continua a intervalos de 8 días, procurando que el suelo se encontrara lo mas húmedo posible ya que de esta forma se evita el daño de las raíces durante en arranque de hierbas.

Al concluir la etapa de producción en vivero, 70 días después del transplante, se llevó a cabo la segunda fase del estudio (de laboratorio o análisis destructivo). Con este propósito se seleccionó sistemáticamente una muestra representativa tomando cuatro plántulas de cada “parcela chica” siguiendo una línea diagonal entre dos esquinas opuestas. Para cada combinación de especie, sustrato y densidad se tomaron 12 plantas en total. Las plántulas se llevaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver. A cada plántula se le midió el diámetro en la base y la altura. Después, con extremo cuidado, se separó el suelo para dejar al descubierto la raíz. Se separó la raíz del tallo con hojas y se colocaron por separado en bolsas de papel y se pusieron a secar en una estufa de secado durante 48 horas a una temperatura de 48º C. Una vez secas se midió el peso seco del sistema de raíz, del tallo y de las hojas.

En la tercera fase del estudio, las plantas que no se llevaron al laboratorio se combinaron en grupos de 12 plantas por tratamiento (combinación de sustrato y densidad) y por especie sin diferenciar el bloque. Estas plántulas se sembraron el 3 de octubre de 2006 en la finca Alvarado en la comunidad de Sayula, Ver. El diseño experimental de establecimiento fue el de parcelas divididas en el que los tratamientos (combinación de sustrato y densidad) fueron las parcelas completas y las sub-parcelas fueron las especies. Cada sub-parcela contiene 2 líneas de 12 plántulas por cada especie, y se establecieron tres repeticiones de las parcelas completas. El diámetro en la base y la altura total de cada plántula se midió inmediatamente después de plantarse, y luego dos meses después. Mediciones subsecuentes estaban planeadas cada dos años, pero debido a que la cerca de alambre establecida para proteger a las plantas del ganado no se cuidó por el productor cooperante, el ganado se introdujo en la parcela causando demasiado daño, por lo que la remedición “dos años después” fue cancelada.

Los resultados se analizaron mediante el uso del paquete computacional *Statistical Analysis System* (SAS), con el procedimiento ANOVA, con un nivel de significancia de 5%.

RESULTADOS

Con base en las mediciones del análisis destructivo de las plántulas en laboratorio, para el parámetro de altura se encontró una interacción significativa sustrato-especie (P = 0,013) y una diferencia grande entre los dos sustratos (P < 0,001). Las plántulas que crecieron en suelo fueron más cortas que las que crecieron en el S+C y la diferencia en altura entre los dos sustratos fue afectada por la especie, la diferencia en altura para cedro fue el doble que el de las otras especies (Tabla 1a). También se observó una interacción especies-densidad (P = 0,015) y una diferencia entre las

densidades (*P* = 0,007). El tratamiento de 100% densidad produjo las plántulas más altas para cedro y caoba, pero para el roble las dos densidades produjeron plántulas de prácticamente la misma altura (Tabla 2).

Para el promedio del área de la base de la plántula se encontró una interacción significativa sustrato-especie (*P* =0,001) y una diferencia grande entre sustratos (*P*<0,001). Las áreas de la base de la plántula para las tres especies en suelo de vivero fueron prácticamente los mismos, pero para S+C el cedro creció en área de la base de la plántula mucho más que la caoba y el roble (Tabla 1b). La densidad no influyó en el crecimiento en área de la base de la plántula (*P* = 0,14) y ninguna de las otras interacciones fue significativa (*P* > = 0,29).

Para el peso seco de la raíz, la interacción sustrato-especie también fue significativa (*P*=0,011) y mostró una diferencia grande entre sustratos (*P*< 0,001). Similarmente para el peso seco del tallo la interacción sustrato-especie fue significativa (*P*= 0,042) y mostró una diferencia grande entre sustratos (*P* < 0,001). Para ambos pesos, ni la especie ni la densidad mostraron un efecto significativo (*P* > 0,10). Para ambos pesos la diferencia entre especies producidas en suelo no fue muy grande, en tanto que la diferencia entre suelo y S+C fue mayor para el cedro que para la caoba y el roble (Tabla 1c y d). La correlación entre el peso seco de la raíz y el peso del tallo es igual a 0,85 (*P* < 0.001).

Para la relación "biomasa del tallo (tallo y hojas)/biomasa de la raíz" (relación tallo/raíz) la única diferencia significativa fue generada por los sustratos, con promedios de 3,2 y 4,5 para suelo y para *S+C*, respectivamente (*P* = 0,002, error estándar = 0,4). Ni las especies ni la densidad tuvieron un efecto significativo (*P* >= 0,16).

Para analizar con mayor profundidad y detalle la relación tallo/raíz, para cada especie se hicieron gráficas de la relación tallo/raíz contra el peso seco de la raíz. Las plántulas de las tres especies que crecieron en la mezcla *S+C* mostraron claramente un sistema de raíz más abundante y valores de la relación tallo/raíz más altos por peso de la raíz (Fig. 1).

El crecimiento en altura, dos meses después de que las plántulas se llevaron al campo, no fue afectado ni por la especie, los dos tratamientos y ni ninguna interacción (*P* >= 0,11). En tanto que el crecimiento del diámetro en la base fue diferente entre las especies (*P* = 0,002), pero no fue influenciado por ninguno de los otros tratamientos o sus interacciones (*P* >=0,10). El crecimiento promedio del diámetro en la base para caoba, cedro y roble fue de 2,7 mm; 5,4 mm y 3,6 mm (error estándar = 0,6) respectivamente.

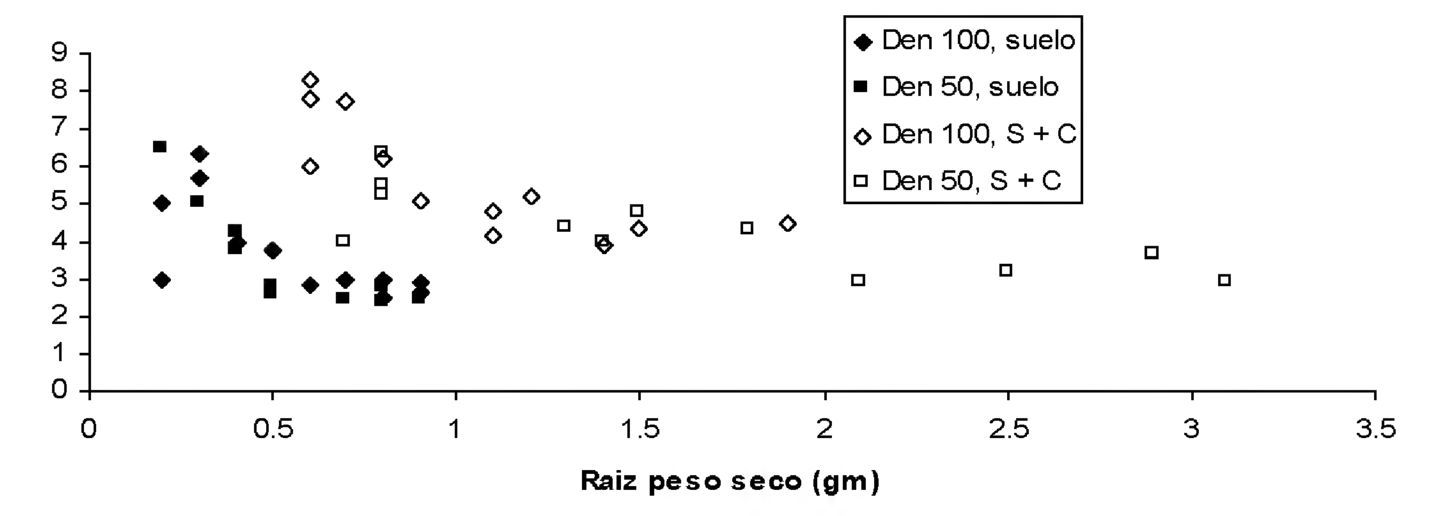
Después de dos meses, la mortandad fue en promedio de 9,2% para todos los tratamientos. Aunque para la mortalidad si se presentó una diferencia significativa como resultado de la interacción especie-sustrato (*P* =0,029), en cambio no se presentó ninguna para los tratamientos y otras interacciones. La mortalidad de la caoba en el tratamiento S+C fue 10 veces más grande que el de la caoba en el tratamiento "suelo", en tanto que para el cedro y el roble la mortandad fue mayor en las plántulas del tratamiento "suelo" (Tabla 1c). Para las tres especies, el diámetro y altura promedio de las plántulas que murieron durante los dos meses fueron más pequeños que el de las plántulas sobrevivientes (diferencias entre las plántulas que vivieron y murieron: 0,6 cm, *P* = 0,017 y 3 cm, *P* = 0,080, respectivamente).

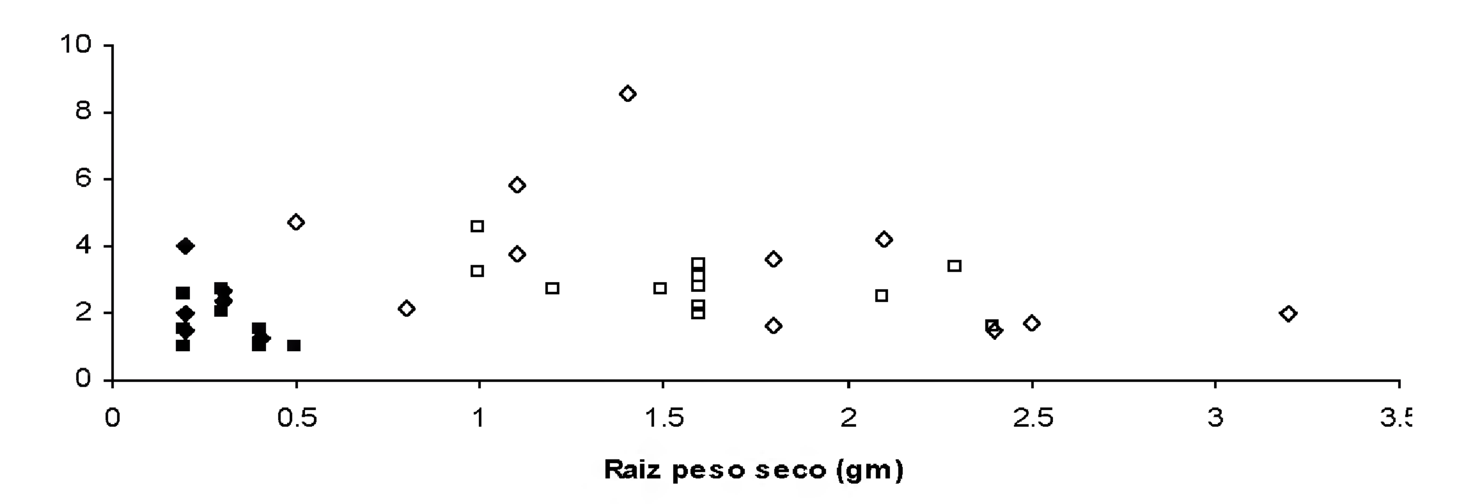
Tabla 1. Altura, diámetro, peso seco de la raíz y peso seco del tallo de las plántulas que se llevaron al laboratorio y mortalidad de las plantas sembradas por especie y tipo de suelo. Error estándar = 8; 0,5; 1,8; 3,7 y 8,5 de la comparación entre suelos por cada especie para las cinco características respectivamente.

Substrato	Caoba	Cedro	Roble
a. Altura (cm)			
Suelo	25	15	15
S+C	40	43	28
b. Área de la base de la plántula (cm^2)			
Suelo	0,14	0,14	0,12
S+C	0,33	0,55	0,36
c. Raíz peso seco (g.)			
Suelo	1,7	1,7	2,2
S+C	4,7	9,4	6,2
d. Tallo peso seco (g.)			
Suelo	4,8	2,8	3,9
S+C	19,4	24,0	17,2
e. Mortalidad (%)			
Suelo	2,1	11,4	9,0
S+C	20,8	6,0	6,3

Tabla 2. Altura promedio de las plántulas que se llevaron al laboratorio por especie para las dos densidades. El error estándar = 2 de la comparación de la altura promedio entre densidades por cada especie.

Densidad	Caoba	Cedro	Roble
50%	31	26	22
100%	34	33	21





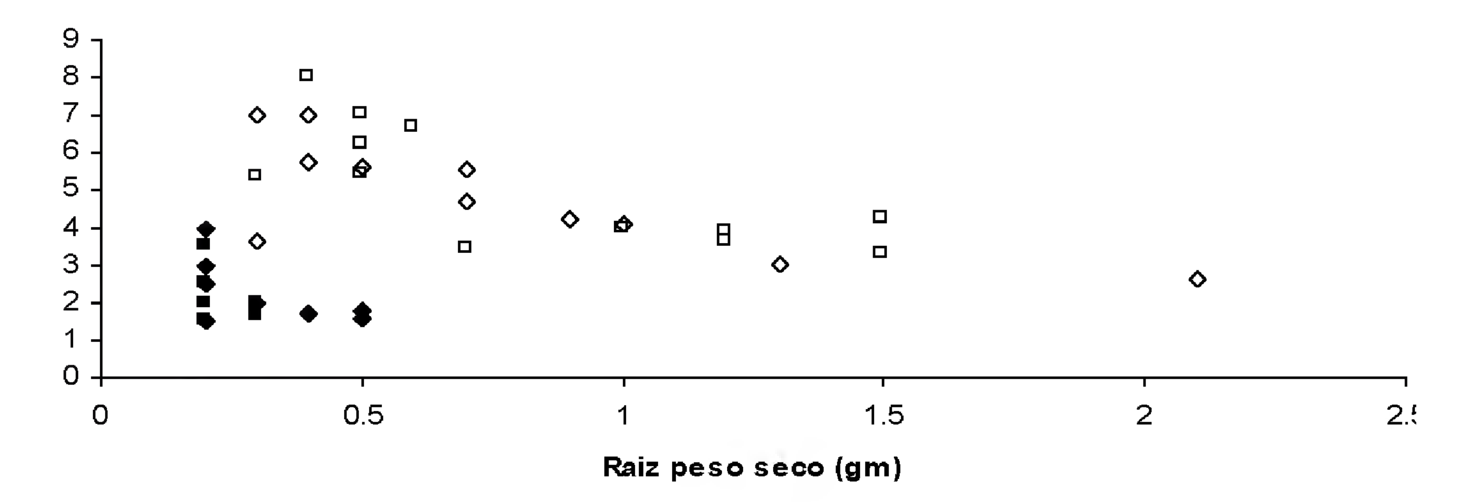


Figura 1. Relación tallo/raíz contra peso seco de raíz para caoba (a), cedro (b), y roble (c).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Al inicio de este trabajo se menciona que la calidad de las plántulas está relacionada con su potencial de crecimiento después del transplante en el campo, y que sembrar plántulas de calidad puede reducir, en forma importante, los efectos de los factores limitantes del sitio de plantación en el establecimiento y crecimiento inicial (Peñuelas y Ocaña, 1996; Montoya y Cámara, 1996; Ortega *et al.*, 2006). En esta investigación se consideró que el potencial de crecimiento de una plántula en el campo se relaciona con las características físicas de la misma al momento de sembrarse y que una característica muy importante es el balance entre el tamaño de su sistema de raíz y la cantidad de follaje (razón tallo/raíz). La importancia de la relación tallo/raíz se establece por su influencia en el balance hídrico de la planta. Una cierta cantidad de superficie foliar que transpira, necesita una cierta cantidad de raíz para absorber el agua que eliminan las hojas. Por lo cual una relación tallo/raíz baja indica abundancia de raíces que es más deseable que el caso inverso (Bernier *et al.*, 1995). Los tratamientos estudiados se seleccionaron por su efecto potencial en las características externas de las plántulas, en particular para estudiar la relación tallo/raíz que es la característica que más se puede asociar con la calidad de la plántula.

El tratamiento de densidad se seleccionó porque la cercanía entre plantas es un factor de competencia por luz. Esto se considera de particular importancia para las especies tropicales con follajes más frondosos que las especies de coníferas (que se producen en condiciones de altas densidades). Sin embargo los resultados revelan que para cedro y caoba (ambas de la familia Meliaceae), la densidad de 100% fue mejor que la de 50%, en tanto que para el roble (de la familia Bignoniaceae) fue totalmente indiferente. Es decir que en estados iniciales de crecimiento aunque las hojas de las plántulas estén unas sobre otras, la competencia por luz no es importante. Este resultado no es trivial ya que de requerirse sembrar al 50% de densidad significa que los viveros necesitarían el doble de espacio para el mismo número de plántulas, y entonces se tendría que valorar el beneficio biológico con el económico.

Sin embargo, lo que mostró tener mayor efecto en esta etapa de crecimiento de las plántulas en el vivero fue la calidad de sustrato. El efecto del sustrato se manifestó en el crecimiento en altura y el área de la base de la plántula, que fueron claramente superiores en el sustrato *S+C*. Pero también el crecimiento de ambas características fueron afectadas por la especie, lo cual pone de manifiesto el acervo genético específico de cada especie, que permite en la literatura clasificarlas en de lento, mediano o rápido crecimiento. Por lo menos en esta etapa de vivero el cedro resultó ser la especie de más rápido crecimiento.

Lo que resulta de mayor trascendencia en este estudio es lo que puede indicar la relación tallo/raiz comparada con el peso seco de la raíz. Las tres especies incrementaron su peso de raíz y, considerando la relación tallo/raíz, incrementaron todavía más su peso de tallo con el tratamiento S+C. En las gráficas (Fig. 1), los resultados quedan prácticamente en dos grupos. El promedio del peso de la raíz de las plántulas que se produjeron en suelo fue de 1,9 g, y de 6,8 g para las que se produjeron en S+C. También el 76% de las plántulas en suelo presentaron una relación tallo/raíz de 3 o menos, 21% de las plántulas en S+C presentaron una relación tallo/raiz de 3 o menos. La relación tallo/raíz óptima se ha estudiado extensamente en especies de clima templado y en especial para espe-

cies que se siembran a raíz desnuda. Estos estudios concluyen que lo más aconsejable es usar plantas 2/1 para sitios secos y 4/1 para aquellos húmedos (Edgren, 1977).

En general se asocia la planta de buena calidad para la repoblación forestal con aquélla que presenta un buen equilibrio entre la parte aérea y la radical, y que tiene un sistema radical abundante y bien conformado (Dans *et al.*, 1999). El tratamiento *S+C* tiene un claro efecto en el aumento del peso de la raíz pero genera unos valores muy altos de tallo/raíz lo cual en primera instancia podría considerarse positivo. Sin embargo en este estudio no se evaluó la calidad (estado de salud, cantidad de raíces secundarias) de la raíz, que es otro factor crítico. Pero se puede elucubrar que la calidad de la raíz puede no ser muy buena al ser tan abundante y estar restringida a un espacio limitado como lo es el envase de plástico negro utilizado. Por diversas razones en México con frecuencia la reforestación se lleva a cabo casi al final de la época de lluvias (Negreros-Castillo, observación personal) por lo que se tiende a utilizar planta muy grande en su parte foliar y con un sistema de raíz también abundante pero posiblemente de no muy buena calidad. Este tipo de planta presenta el riesgo de desecación porque el agua perdida durante la evapotranspiración no podrá ser compensada por la absorción de agua de la que sea capaz la raíz.

Aunque no podemos con certeza indicar que relación tallo/raíz es la “recomendable u óptima” para las especies latifoliadas, los resultados de este estudio ofrecen interesantes aplicaciones. Por ejemplo, usando la mezcla *S+C* se pueden producir plantas con una relación tallo/raíz entre 2 y 4 en mucho menos tiempo que el que normalmente se utiliza (4-6 meses), esto reduce el costo de producción y también compensa por el atraso en el inicio de la producción que también se presenta en muchos viveros del país (Wightman y Cruz, 2003).

En la mayoría de los viveros se fertiliza y se hacen esfuerzos para llevar al campo plantas lo más grande posibles (de 30 cm a 50 cm de altura), porque los viveristas consideran que esto es lo mejor. Sin embargo los resultados de este estudio y de las evaluaciones de las reforestaciones (Wightman y Cruz, 2003) indican que posiblemente se está haciendo exactamente lo contrario. Es decir una planta grande es recomendable siempre y cuando su raíz no sólo sea abundante sino también se encuentre en estado óptimo de funcionamiento y esto es difícil de esperar (aunque no comprobado en este estudio) dado el limitado espacio de crecimiento de la raíz. Una planta más pequeña es posible que tenga un mejor balance tallo/raíz no sólo en cantidad sino en calidad. Sin embargo es necesario tomar en cuenta que la calidad de plántulas no es un concepto absoluto, por lo cual resulta difícil establecer métodos sencillos para determinar la calidad de plántulas forestales (Sánchez y Murillo, 2004).

Con los resultados obtenidos, no fue posible identificar parámetros externos que permitan seleccionar en el vivero las plántulas con mayor potencial de desempeño en el campo, pero es posible que actualmente se estén usando plantas demasiado grandes. Sin duda la mejor calidad de plántula será la que presente la relación tallo/raíz óptima, pero esto es algo más complejo de lo que se anticipó en esta investigación, por lo cual necesitan realizarse estudios más detallados. En especial, pruebas de trasplante en campo de plántulas de varios tamaños y varias combinaciones de la relación tallo/raiz. El trasplante en campo es una de las verdaderas pruebas de calidad a la que las plántulas se pueden someter. Con

este tipo de estudios se pueden llegar a identificar características externas de tamaño asociadas a capacidad de máximo desempeño (relación tallo/raíz óptima) de las plántulas después del transplante en campo, y poder entonces seleccionar en el vivero antes de llevarlas al campo.

RECONOCIMIENTOS

Ing. Ramón Zamudio, propietario del rancho ganadero en donde se llevó a cabo el estudio, al personal del vivero y al Programa Forestal del estado de Veracruz.

REFERENCIAS

Bernier. P.Y, M.S. Lamhamedi y D.G. Simpson. 1995. Shoot/root ratio is of limited use in evaluating the quality of container conifer stock. Tree Planters' Notes 46(3):102-106.

Dans, F., F.J. Fernández y A. Romero. 1999. Manual de silvicultura del Pino radiata en Galicia. AgroByte. 199 p.

Devlin, R.M. 1980. Principios de fisiología vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona. 517 p.

Duryea, M.L. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedling quality. *In*: Duryea M. L. and Landis T. D. eds. Forest Nursery Manual: Production of bare root seedlings. Martinus Nijhoff/W.Junk. La Haya, Holanda. 385p.

Edgren, W. 1977. Field survival and growth of Douglas fir by age and size of nursery stock. USDA Forest Service. Research Paper PNW-217. 6 p.

Galston, A.W. y J. Bonner. 1965. Principios de fisiología vegetal. Aguilar, Madrid, 4ª Ed. 485 p.

García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. 246 p.

Hartmann, H.T., D. Kester y A. Ambrosio. Trad. 1985. Propagación de plantas: principios y prácticas. CECSA. México, D.F. 760 p.

Luis, V.C., J. Peters, A.M. González-Rodríguez, M.S. Jiménez y D. Morales. 2004. Testing nursery plant quality of Canary Island Pine seedlings grown under different cultivation methods. PHYTON 44(2):231-244.

Montaldi, E.R. 1995 Principios de fisiología vegetal. Ediciones Sur. La Plata. Argentina. 298 p.

Montoya, J.M. y M.A. Cámara O. 1996. La planta y el vivero forestal. Ediciones Mundi- prensa. España.127 p.

Ortega, U., A. Kidelman, A. Hevia, E. Alvarez-Roy y J. Majada. 2006. Control de calidad de planta forestal. Información Agroforestal. (3):2-7.

Ortega. U., N. Rodríguez, C. González-Murua, J. Majada, I. Azpitarte, K. Txarteroma y M. Duñabeitia. 2001. Estudio de la calidad de planta de *Pinus radiata* en envase. *In*: Montes para la sociedad del Nuevo Milenio. III Congreso Forestal Español. Junta de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente. (3):354-359.

Peñuelas, R.J.L. y L. Ocaña B. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor, principios y fundamentos. V.A. Impresiones. España. 190 p.

Rojas, M.G. 1959. Principios de fisiología vegetal. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 234 p.

Sánchez. S. y O. Murillo. 2004. Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: Estudio de caso con ciprés *(Cupressus lusitanica)*. Agronomía Costarricense 28(2):95-106.

Trejo. D, R. Zulueta y L. Lara. 2007. Manual de prácticas para el estudio de la simbiosis micorrízico arbuscular. Universidad Veracruzana. 200p.

Wightman, K. 1999. ¡Convierta la basura en abono orgánico! Libreta técnica de composta. ICRAF. Chetumal, Q. Roo. México. 18 p.

Wightman, K. y B.S.Cruz. 2003. La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. Foresta Veracruzana. 5(1):45-51

Manuscrito recibido el 07 de enero de 2009
Aceptado el 19 de noviembre de 2009

Este documento se debe citar como: Negreros-Castillo, P., M. Apodaca-Martinez y C. W. Mize. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques* 16(2):7-18.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México

Diameter growth of *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson in a tropical evergreen forest of northern Oaxaca, Mexico

Filemón Manzano-Méndez[1], Juan Ignacio Valdez-Hernández[1]
Miguel Ángel López-López[1] y Humberto Vaquera-Huerta[2]

RESUMEN

Se determinó el crecimiento estacional en diámetro de una especie de importancia maderable: *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson. Se seleccionaron 22 árboles en seis categorías diamétricas y se les instalaron bandas dendrométricas para tomar lecturas bimensuales de su crecimiento. También se registraron características relacionadas con la copa de los árboles: calidad (simetría, vigor, densidad del follaje) y posición (incidencia de luz). El crecimiento promedio anual en diámetro fluctuó de 0,86 cm a 1,87 cm en las categorías diamétricas, de 0,52 cm a 2,04 cm en las calidades de copa y de 0,73 cm a 1,70 cm en las posiciones de copa. Los análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas (p<0,001) entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa. Herramientas como la banda dendrométrica apoyada en modelos de regresión fueron de gran utilidad para el registro y proyección del incremento en diámetro de la especie estudiada.

PALABRAS CLAVE:
Banda dendrométrica, calidad y posición de copa, categoría diamétrica, especie maderable, tasa de crecimiento.

ABSTRACT

The seasonal diameter growth of a commercially valuable tree species, *Zanthoxylum kellermanii* (P. Wilson), was determined. Twenty-two trees were selected in six diameter categories and dendrometric bands were used to take bimonthly growth readings. Other readings related to crown characteristics were also taken: quality (symmetry, vigor, density of foliage) and positions (light incidence). Mean annual growth in diameter fluctuated from 0,86 cm to 1,87 cm within diameter categories; from 0,52 cm to 2,04 cm within crown qualities and from 0,73 cm to 1,70 cm within crown positions. Analyses of variance showed highly significant differences (p≤0,001) among diameter categories, as well as among crown qualities and positions. Tools such as dendrometric bands along with regression models, proved to be useful to determine and project the diameter increment of the species studied.

KEY WORDS:
Dendrometric band, crown quality and position, diameter category, timber species, growth rate.

1 Instituto de Estudio Ambientales. Universidad de la Sierra Juárez. Av. Universidad s/n, C.P. 68725. Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Tel. (951)55 36362. Fax: 951 5536370. Correo electrónico: manzano@juppa.unsij.edu.mx.
2 Postgrado en Estadística. Colegio de Postgraduados. Km 36.5 carretera México-Texcoco. Montecillo 56230 Texcoco, Estado de México. Tel. (595) 95-202-00 ext: 1471. Fax: (595) 95-202-56.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de sistemas silviculturales basados en un manejo sostenible del bosque requiere información detallada de los patrones de crecimiento de los árboles en regiones tanto templadas como tropicales (Makocki y Valdez, 2001). Particularmente en México, estas últimas no han recibido una atención suficiente; aún cuando existen algunas proyecciones para especies como *Swietenia macrophylla* King o *Cedrela odorata* L. (Ricker y Del Río, 2004), para la mayoría de especies arbóreas en bosques tropicales no existe información científica de su crecimiento y rendimiento en madera. *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson es una especie muy apreciada en zonas cálido-húmedas para construcción de casas (Pennington y Sarukhán, 2005) y fabricación de muebles, sus hojas y corteza contienen propiedades anti-inflamatorias y analgésicas (Lima *et al*., 2007).

La información del crecimiento radial se emplea para explicar cambios en diámetro y evaluar tasas de producción de madera en diferentes categorías a través del tiempo (Worbes, 1995). La medición del diámetro se utiliza para estimar, a través del uso de modelos alométricos variables de difícil medición, tales como biomasa de madera y foliar entre otros. En diversos estudios sobre silvicultura, ecología del bosque y fisiología de árboles se han utilizado una variedad de instrumentos de medición que a menudo difieren en exactitud, precisión, costo o simplicidad operacional (López *et al*., 2006). Un instrumento que se puede emplear es la banda dendrométrica, la cual tuvo sus inicios con Hall (1944) y se puede construir con cintas de acero inoxidable o aluminio. Liming (1957) sugiere una técnica que registre cambios en circunferencia mediante una escala sobrepuesta a la banda metálica, mientras que Cattelino *et al.* (1986) proporcionan detalles de su construcción, instalación y material utilizado. El empleo de bandas dendrométricas en especies arbóreas tropicales va en aumento (Pereira da Silva *et al*., 2002) y se está convirtiendo en una herramienta popular en varios aspectos de la investigación forestal (Galán, 2007). Particularmente en México, existen trabajos donde esta técnica no destructiva ha generado resultados satisfactorios (Makocki y Valdez, 2001; López *et al*., 2006). Por lo anterior y con el propósito de contribuir a un mejor manejo de la selva perennifolia en el norte del estado de Oaxaca, México, el presente trabajo tuvo como finalidad determinar las tasas de crecimiento anual en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii,* una especie de importancia maderable en la región.

OBJETIVO

Comparar el crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson entre categorías diamétricas, calidades y posiciones de copa, así como determinar sus tasas de crecimiento anual.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Se localiza en San Martín Soyolapan, municipio de Santiago Comaltepec, ubicado al norte del estado de Oaxaca, México, en la región denominada Chinantla Alta (17° 41' 53,5" N; 96° 16' 57,3" O; 60 msnm).

El clima se clasifica como *Am e(g)w"*, cálido húmedo con lluvias en verano, con una temperatura media anual de 24 °C (máxima 28 °C, mínima 21 °C) y 3590 mm de precipitación al año (García, 1987). El tipo de vegetación corresponde a una selva alta perennifolia (Pennington y Sarukhán, 2005).

Selección de individuos y colocación de bandas dendrométricas

En una superficie aproximada de cinco hectáreas, al borde del bosque natural, donde la especie de interés presentó una mayor densidad de individuos, se escogieron 22 árboles sanos y de fuste recto y concéntrico. Estos individuos se clasificaron en seis categorías (cat) diamétricas de acuerdo con Corella *et al.* (2001): 2,5 cm-7,5 cm (cat 5); 7,6 cm-12,5 cm (cat 10); 12,6 cm-17,5 cm (cat 15); 17,6 cm-22,5 cm (cat 20); 22,6 cm-27,5 cm (cat 25) y 27,6 cm-32,5 cm (cat 30), instalándoles bandas dendrométricas, siguiendo la metodología descrita por Cattelino *et al.* (1986), a una altura de 1,30 m sobre el nivel del suelo (DAP) para tomar lecturas bimensuales de su crecimiento. Las categorías de 20, 25 y 30 cm fueron evaluadas durante un periodo de 12 bimestres, mientras que las de 5, 10 y 15 cm durante siete bimestres; esto debido a que en el rodal elegido no se encontraron las últimas tres categorías y se buscaron posteriormente en un rodal contiguo al área principal de estudio. Los individuos también se clasificaron con base en su calidad y forma de copa: buena (3), copa simétrica y vigorosa; regular (2), defectos en simetría y mediana densidad de hojas; deficiente (1), copa fracturada, asimétrica y poco vigorosa. Además se clasificaron de acuerdo con su posición de copa: expuesta (3), con entradas verticales y laterales de luz solar; semiexpuesta (2), con entradas parciales verticales o laterales de luz; y cubierta (1), con nula o muy poca entrada de luz solar (adaptado de Dawkins, 1958).

Análisis estadístico

Con los datos de crecimiento obtenidos bimensualmente se realizaron análisis de regresión no lineal con el paquete estadístico Curve expert versión 1.3 (2008) para modelar el crecimiento acumulado en función del tiempo. Para ajustar la base de datos se probaron los siguientes modelos: cuadrático (1): $y= b_0+ b_1x+ b_2x^2$, exponencial (2): $y=b_0[1\text{-exp}(-b_1x)]$ y logístico (3): $y= b_0/[1+ b_1\text{exp}(-b_2x)]$, evaluados a través de sus valores estadísticos como el cuadrado medio del error, R^2, y nivel de significancia de los modelos, seleccionando el modelo exponencial por su sencillez y por presentar un mejor ajuste. Una vez obtenidas las ecuaciones de cada individuo en las categorías diamétricas, así como en las clases de calidad y posición de copa, se calcularon valores con el modelo ajustado y se obtuvieron curvas de crecimiento tanto individuales como promedio, las cuales se representaron gráficamente. Con los datos observados se realizaron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$) empleando el paquete estadístico SAS versión 8.0 (SAS Institute, 1999). Con los datos obtenidos de los modelos de regresión ajustados por categoría diamétrica, calidad de copa y posición de copa, se calcularon las tasas de crecimiento promedio por bimestre y la del incremento promedio anual. Finalmente se correlacionaron los valores de calidad con los de posición de copa mediante la utilización de la prueba de Spearman.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Categorías diamétricas

El crecimiento acumulado en diámetro para los 22 árboles seleccionados se muestra en la figura 1. Los crecimientos promedio anuales fluctuaron de 0,86 cm a 1,87 cm entre las diversas categorías diamétricas; 0,86 cm corresponde a la categoría diamétrica de 20 y 1,87 cm a la categoría 10. Sin embargo, fue posible encontrar individuos que crecieron hasta 3,11 cm/año (Tabla 1).

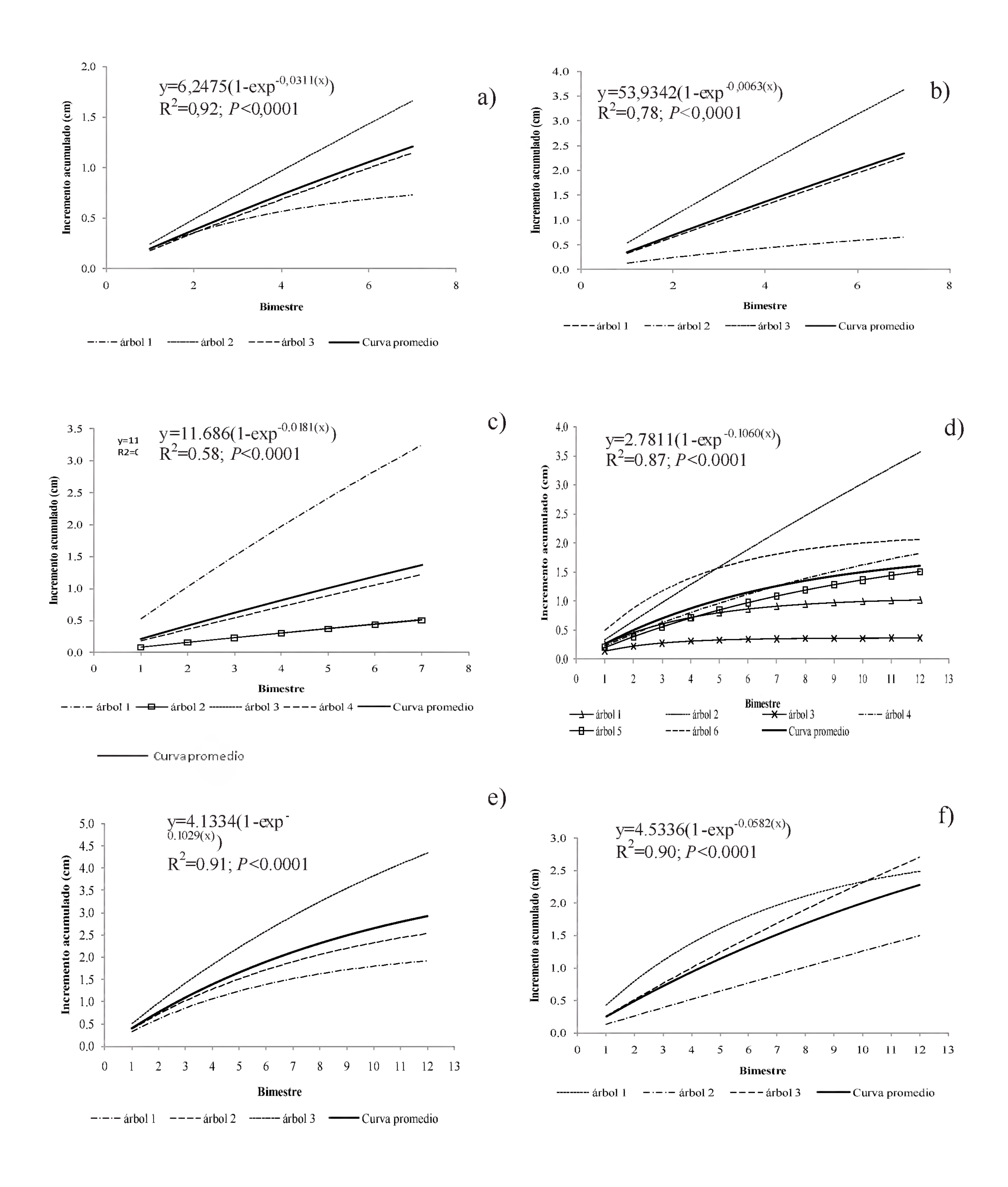


Figura 1. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica: 5 cm (a), 10 cm (b), 15 cm (c), 20 cm (d), 25 cm (e) y 30 cm (f). La ecuación corresponde a la curva promedio en cada categoría.

Tabla 1. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica.

Categoría diamétrica	Número de árboles	Crecimiento promedio anual en diámetro (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
5	3	0,6238	1,0094	1,4209	0,3992
10	3	0,5622	1,8708	3,1109	1,2757
15	4	0,4293	1,1746	2,7789	1,1070
20	6	0,1802	0,8629	1,7875	0,5458
25	3	0,9608	1,4676	2,1740	0,6301
30	3	0,7510	1,1162	1,3535	0,3202

Estos valores son similares al observado por Pereira *et al.* (2002) para una región natural en la Amazonía Central de Brasil (1,64 cm), pero menores al encontrado por Russo y Sandí (1995) para la misma especie en la región tropical húmeda de Costa Rica (5,12 cm) aunque en condiciones de plantación y bajo manejo, lo cual puede explicar esta diferencia en crecimiento. Al respecto, Foli *et al.* (2003) sostienen que la densidad del rodal y el espacio de crecimiento en los trabajos de plantación representan una guía útil para la práctica silvicultural en bosques tropicales.

Los resultados del análisis de varianza muestran que existen diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre categorías diamétricas y entre bimestres de medición (Tabla 2).

El valor medio del crecimiento en diámetro de la categoría 10 fue significativamente mayor que las categorías restantes (Tukey, $p < 0,05$), de la misma manera la categoría 25 con respecto a las 15 y 5, mientras que las categorías 25, 20 y 30 fueron estadísticamente similares (Tukey, $p > 0,05$), al igual que las 20, 30, 15 y 5 (Tabla 3, Figura 2).

Tabla 2. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica registrado durante siete bimestres en árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Categorías diamétricas	5	0,368	<0,0001
Bimestres	6	1,4667	<0,0001
Error	30	0,019	

g.l.= grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

Tabla 3. Valores medios del crecimiento en diámetro por categoría diamétrica para árboles de *Zanthoxylum kellermanii.*

CATEGORIA	N	MEDIA
10	7	1,36129 a
25	7	1,09057 b
20	7	0,92000 bc
30	7	0,91657 bc
15	7	0,80957 c
5	7	0,71671 c
DMS		0,2247

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$); N = bimestres; DMS = diferencia mínima significativa

El comportamiento puede ser explicado con base en el crecimiento alternado de la altura y grosor del tallo en las diferentes categorías diamétricas. Así, las categorías intermedias (p.e. cat 10) parecen destinar recursos para aumentar en diámetro (Klepac, 1983), mientras las categorías pequeñas (p.e. cat 5) tienen un crecimiento lento (Diéguez et al., 2003), el cual se refleja en una menor pendiente de la curva de crecimiento (Louman et al., 2001). Sin embargo, estas categorías pequeñas pueden estar aumentando en altura. Al respecto, Harold y Hocker (1984) mencionan que en la mayoría de las especies la tasa de crecimiento en altura es mayor que los incrementos en diámetro en las primeras etapas de desarrollo. En cambio, las categorías grandes (p.e. cat 30) van disminuyendo su crecimiento gradualmente, llegando a ser muy reducido (Klepac, 1983; Wadsworth, 2000).

Calidad y posición de copa

En la tabla 4 se observan los crecimientos diamétricos mínimos, medios y máximos, mientras que el crecimiento acumulado por calidad de copa se muestra en las figuras 3 a 5.

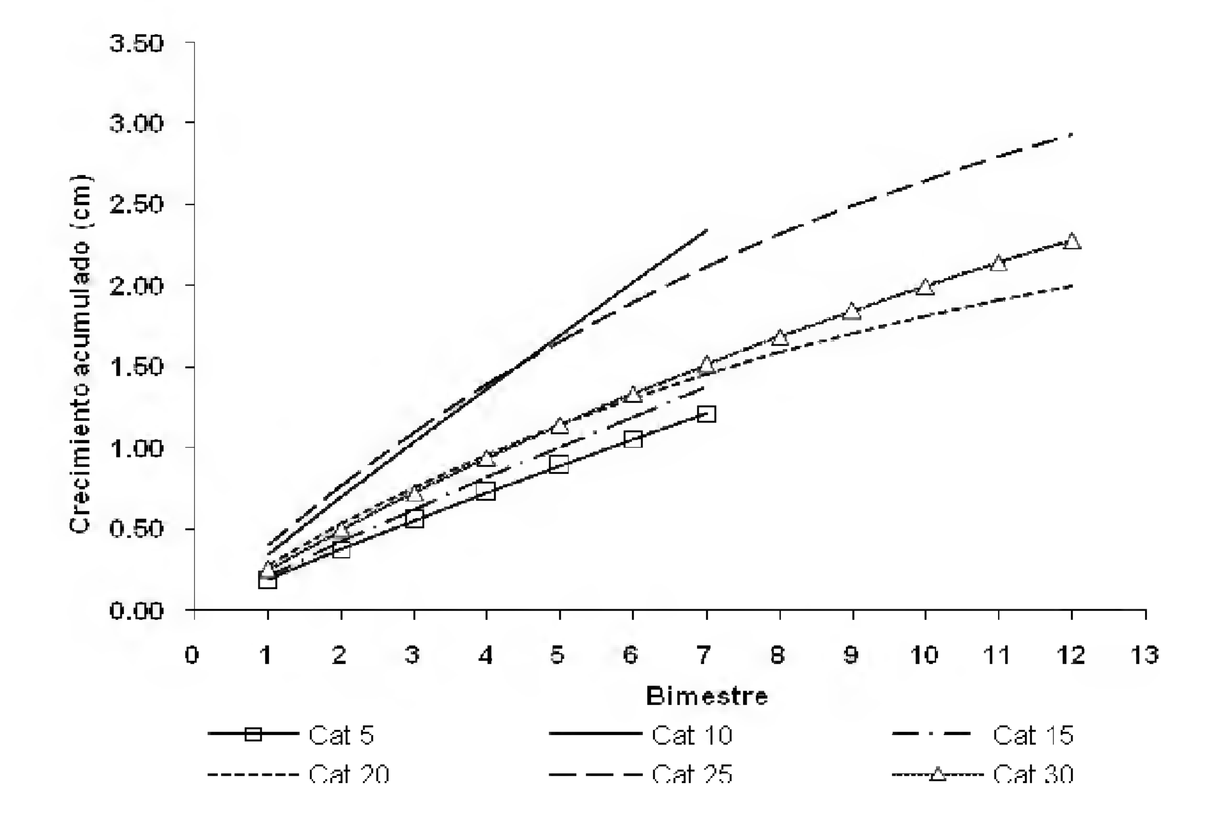


Figura 2. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por categoría diamétrica.

Tabla 4. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por calidad de copa.

Calidad de copa	Número de árboles	Crecimiento promedio anual en diámetro (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
3 (buena)	7	1,0348	2,0352	3,1108	0,7278
2 (regular)	9	0,5092	1,0032	1,3535	0,2668
1 (deficiente)	6	0,2990	0,5210	0,7668	0,1649

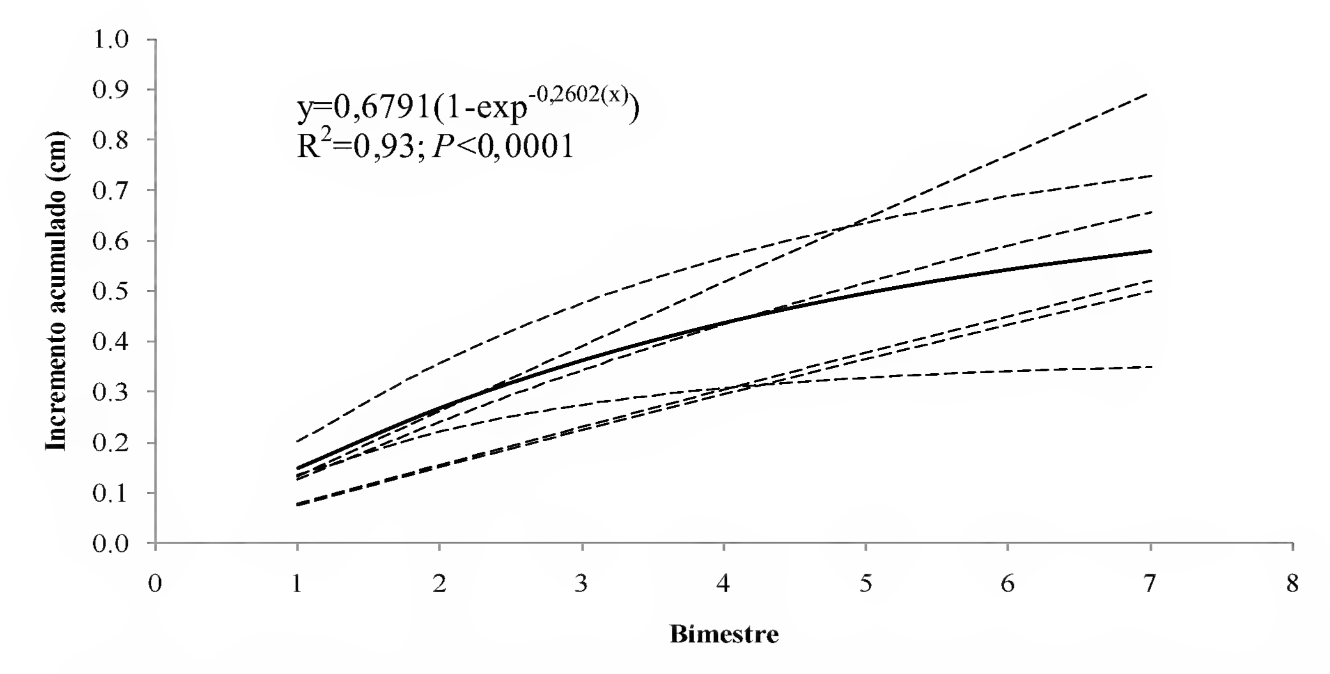


Figura 3. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=6) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa uno. La ecuación corresponde a la curva promedio (línea continua).

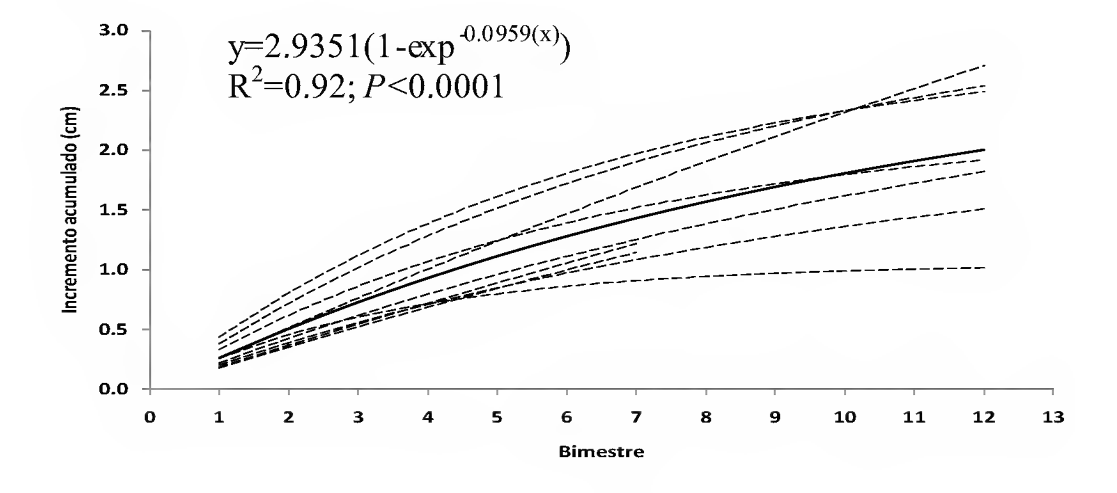


Figura 4. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=9) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa dos. La ecuación corresponde a la curva promedio (línea continua).

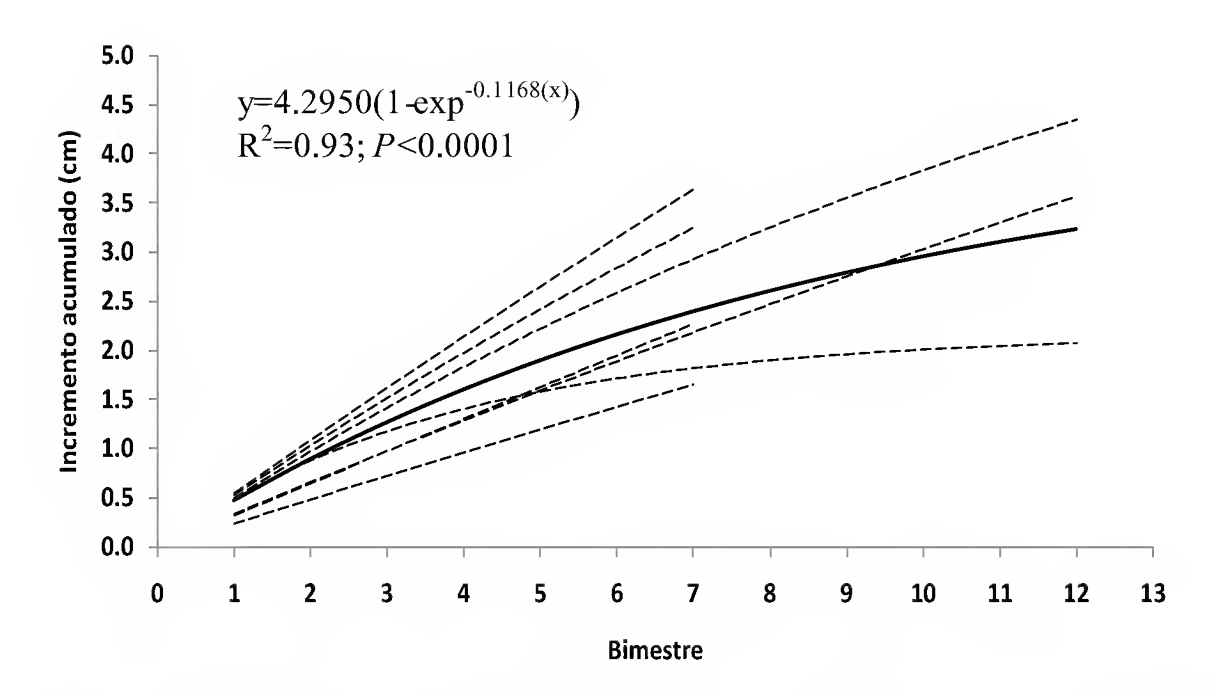


Figura 5. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=7) de *Zanthoxylum kellermanii* con calidad de copa tres. La ecuación corresponde a la curva promedio (línea continua).

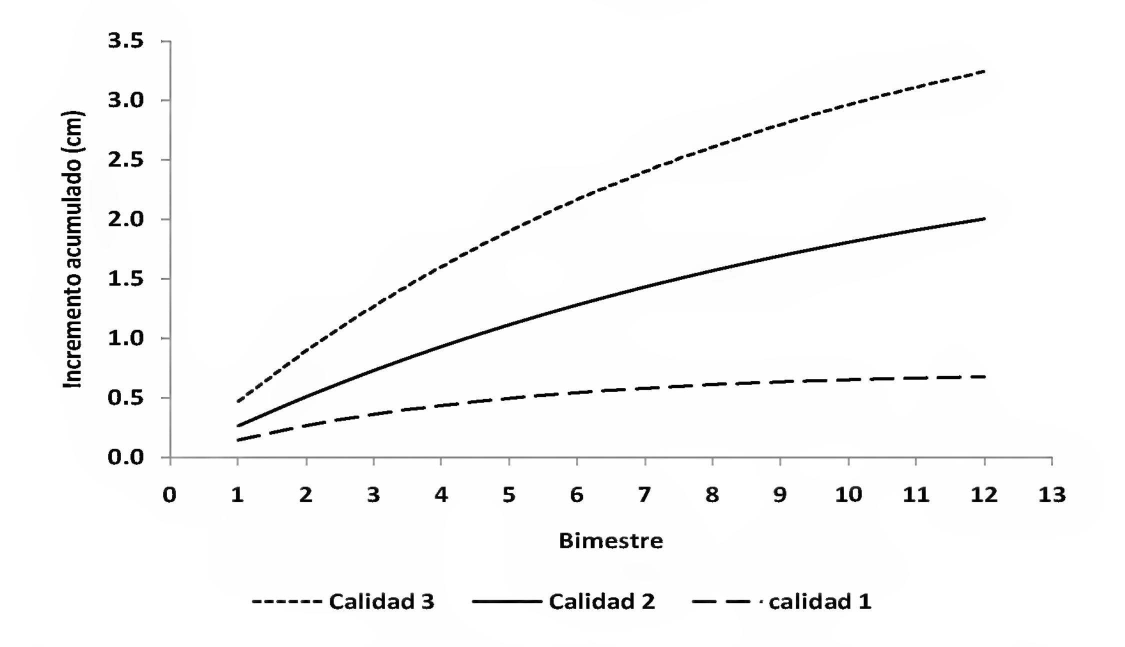


Figura 6. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por calidad de copa.

Las curvas promedio del crecimiento acumulado en diámetro para árboles clasificados en tres calidades de copa se observan en la figura 6.

Los valores del crecimiento en diámetro mostraron diferencias altamente significativas (p < 0,001) entre calidades de copa y bimestres de registro de las mediciones (Tabla 5). Este resultado se apoya en que el aspecto o calidad de copa se relaciona con el tamaño y estado de desarrollo del árbol, así como con su incremento potencial (Dawkins, 1963; O'Brien *et al*., 1995; Sterck y Bongers, 2001), y que el diámetro y conformación de la copa tienen una relación positiva con el diámetro del fuste (Smith *et al*., 1992; Alves y Santos, 2002; Foli *et al*., 2003).

Tabla 5. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por calidad de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Calidades de copa	2	2,2215	<0,0001
Bimestres	6	0,5360	<0,0001
Error	12	0,7292	

g.l. = grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

Los valores medios del crecimiento en diámetro para las calidades de copa fueron significativamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$), (Tabla 6), observándose un mayor crecimiento para los individuos de calidad 3, intermedio para los de calidad 2 y menor para los de calidad 1. Al respecto, Swaine *et al.* (1987) sugieren que los árboles con mejor conformación estructural de la copa tienden a crecer más en diámetro, mientras que Louman *et al.* (2001) señalan que la forma e integridad de la copa es un buen indicador del vigor del árbol.

Con respecto a la categorización por posición de copa, los individuos con posición 3 tuvieron el mayor crecimiento promedio anual que los clasificados como posición 2. (Tabla 7).

El crecimiento acumulado en diámetro de los árboles clasificados por posición de copa se muestra en las figuras 7 y 8.

Tabla 6. Valores medios del crecimiento en diámetro por calidad de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

CALIDAD	N	MEDIA
3	7	1,5291 a
2	7	0,8980 b
1	7	0,4053 c
DMS		0,3851

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$); N = bimestres; DMS = diferencia mínima significativa.

Tabla 7. Crecimiento promedio anual en diámetro mínimo, medio y máximo de *Zanthoxylum kellermanii* por posición de copa.

Posición de copa	Número de árboles	Crecimiento promedio anual en diámetro (cm/año)			Desviación estándar
		Mínimo	Medio	Máximo	
3	11	0,9131	1,7027	3,1108	0,7387
2	11	0,4293	0,7370	1,2678	0,2811

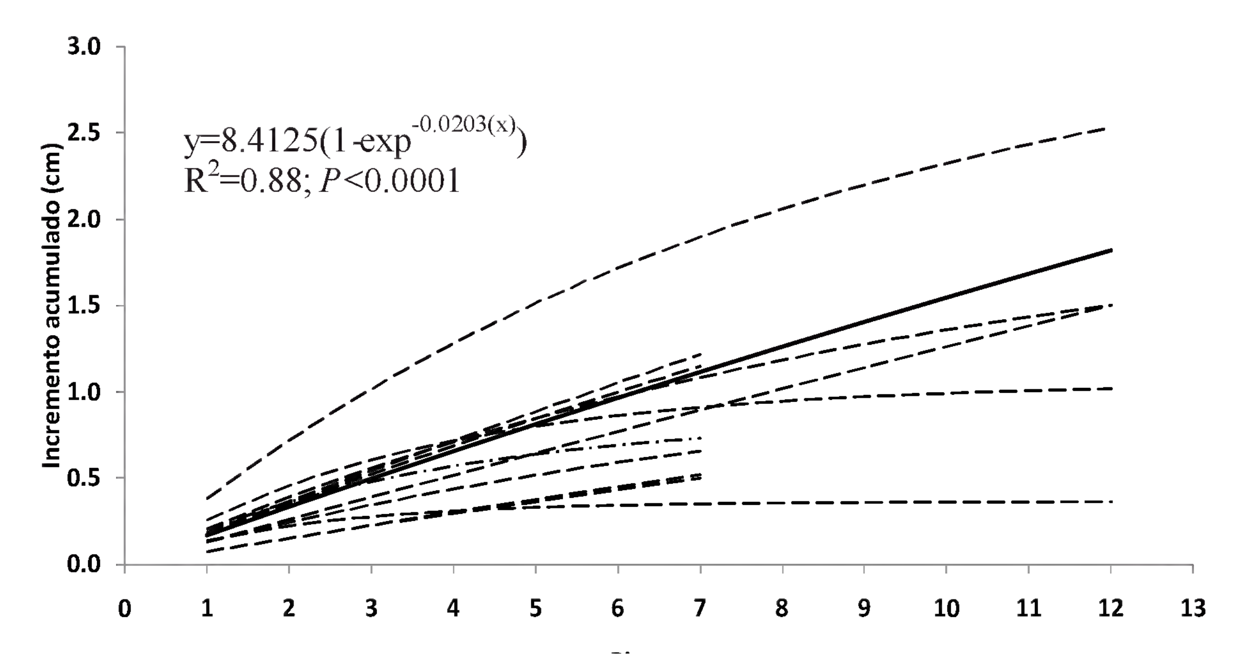


Figura 7. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa dos. La ecuación corresponde a la curva promedio (línea continua).

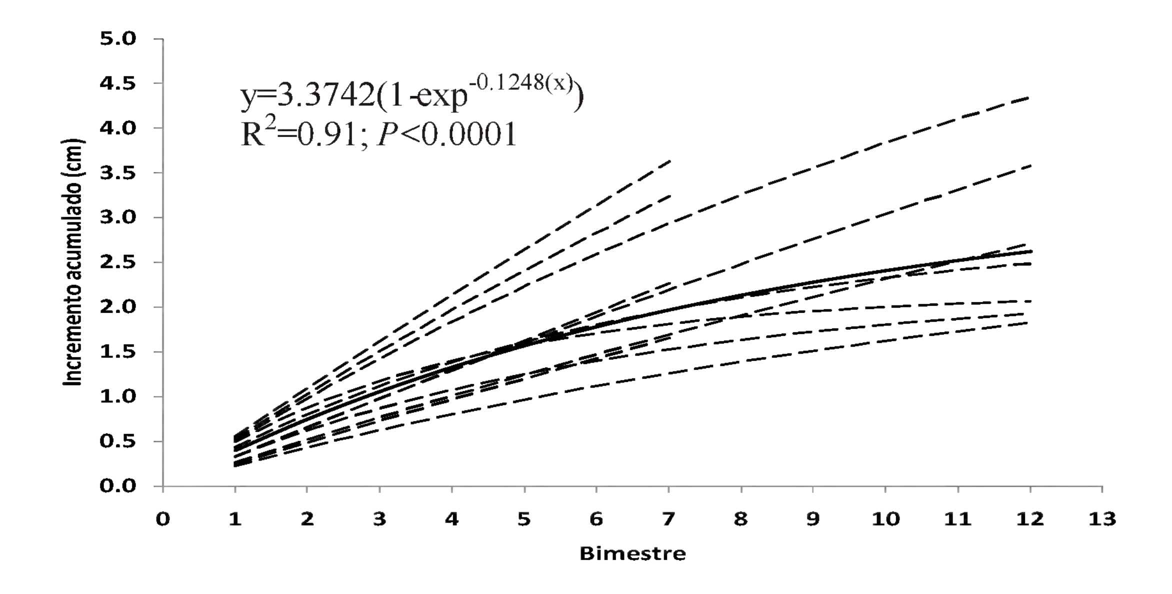


Figura 8. Crecimiento acumulado en diámetro para árboles (n=11) con posición de copa tres. La ecuación corresponde a la curva promedio (línea continua).

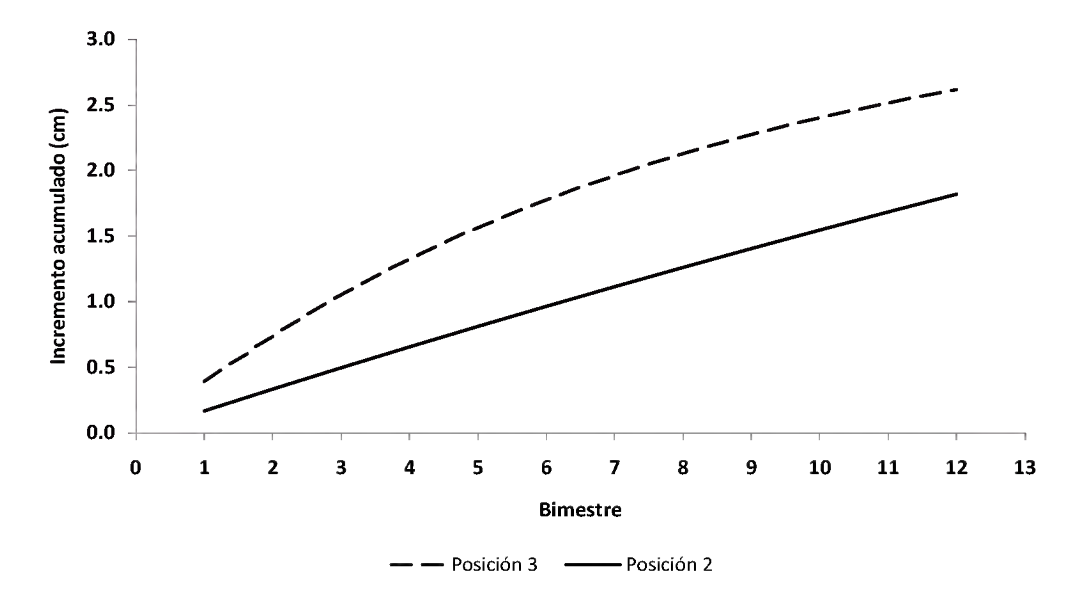


Figura 9. Crecimiento promedio acumulado en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* por posición de copa.

Tabla 8. Análisis de varianza del crecimiento en diámetro por posición de copa registrado para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

FUENTE DE VARIACIÓN	g.l.	CM	Pr>F
Posiciones de copa	1	0,4810	<0,0001
Bimestres	11	0,3646	<0,0001
Error	23	0,0150	

g.l. = grados de libertad; CM = cuadrados medios; Pr>F = significancia

Las curvas promedio del crecimiento acumulado en diámetro para árboles clasificados en dos posiciones de copa se observan en la figura 9.

Los valores del crecimiento en diámetro revelaron diferencias altamente significativas ($p < 0,001$) entre posiciones de copa y bimestres de registro de las mediciones (Tabla 8).

La media del crecimiento en diámetro para la posición de copa tres fue significativamente (Tukey, $p < 0,05$) mayor a la de la posición de copa dos (Tabla 9), lo cual sugiere que individuos con recepción directa de luz solar tienen un mayor crecimiento diamétrico (Silva *et al.*, 1995; Hubbell *et al.*, 1999). Al respecto, Clark y Clark (1999) y Louman *et al.* (2001) mencionan que la posición relativa de copa en el dosel determina su acceso a la luz, lo que a su vez, implica diferencias en crecimiento de individuos para una misma población.

Considerando lo anterior, muchas especies en bosques tropicales requieren para su crecimiento y reproducción de luz solar directa, por lo que muestran respuestas positivas en su crecimiento a las aperturas en el dosel (Denslow, 1987; Clark y Clark, 1994). Así mismo Camacho y Finegan (1997) señalan que la exposición a la luz representa una de las variables silviculturales de mayor relación con el incremento diamétrico.

Desde un punto de vista sucesional, *Zanthoxylum kellermanii* es considerada como una especie pionera de rápido crecimiento (Brokaw, 1985), la cual es favorecida por una alta iluminación, ocupando espacios creados por perturbaciones (Lozada y Arends, 2000) y como regeneración natural en zonas bajo aprovechamiento maderable (Grela, 2003).

Tabla 9. Valores medios del crecimiento en diámetro por posición de copa para árboles de *Zanthoxylum kellermanii*.

POSICIÓN	N	MEDIA
3	7	1,02043 a
2	7	0,64971 b
DMS		0,1606

Valores con letras distintas fueron estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0,05$); N = bimestres; DMS = diferencia mínima significativa.

La calidad y posición de la copa se correlacionaron positivamente ($r = 0,95$; $p < 0,0001$), lo cual indica que la calidad estuvo significativamente asociada con la posición que tiene el árbol en el dosel; al respecto, Zamudio-Sánchez y López-

Torres (1999) señalan que la superficie expuesta de la copa del árbol puede considerarse una medida del grado del vigor de los individuos en un sitio, mientras que Clark y Clark (1999) mencionan que la posición de la copa tiene importancia para el vigor del árbol y su calidad de copa, determinando diferencias en crecimiento.

CONCLUSIONES

El modelo que mejor describe el crecimiento acumulado de *Zanthoxilum kellermanii* en función del tiempo es el modelo exponencial, el cual representa a su vez un modelo sencillo y de fácil aplicación para la especie. Existieron diferencias significativas de crecimiento en diámetro para árboles de *Zanthoxylum kellermanii* entre categorías diamétricas, así como entre calidades y posiciones de copa. Los mayores crecimientos diamétricos anuales para esta especie se registraron en individuos de 7,6 a 12,5 cm (categoría diamétrica 10), con buena calidad de copa (simétrica, vigorosa) y expuestas, tanto vertical como lateralmente a la luz solar. De acuerdo con los resultados obtenidos, *Zanthoxylum kellermanii* es una especie considerada de sucesión temprana, susceptible de ser utilizada en programas de recuperación y enriquecimiento de áreas perturbadas en la zona de estudio.

AGRADECIMIENTOS

A la fundación Ford y al Programa de Becas de Postgrado para Indígenas de México por la beca otorgada al primer autor para cursar el doctorado en el Postgrado Forestal del Colegio de Postgraduados; a Elizandro Pineda Herrera por su apoyo en el trabajo de campo y a Víctor Manuel Interián Ku y Esmeralda Cázares Sánchez por la ayuda en la interpretación estadística.

REFERENCIAS

Alves, L.F. y F.A.M. Santos. 2002. Tree allometry and crown shape of four tree species in Atlantic rain forest, Southeast Brazil. Journal of Tropical Ecology 18(2):245-260.

Brokaw, N.V.L. 1985. Gap-phase regeneration in a tropical forest, Ecology 66(3):682-687.

Camacho, M. y B. Finegan. 1997. Efectos del aprovechamiento forestal y el tratamiento silvicultural en un bosque húmedo del noreste de Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE. Informe técnico No. 295. Colección Manejo diversificado de Bosques Naturales. No 11. 38 p.

Cattelino, P.J., C.A. Becher y L.G. Fuller. 1986. Construction and installation of homemade dendrometer bands. Northern Journal of Applied Forestry 3:73-75.

Clark, D.A. y D.B. Clark. 1994. Climate-induced annual variation in canopy tree growth in a Costa Rican tropical rain forest. Journal of Ecology 82:865-872.

Clark, D.A. y D.B. Clark. 1999. Assessing the growth of tropical rain forest trees: issues for forest modeling and management. Ecological applications 9(3):981-997.

Corella, J.F., J.I. Valdez H., V.M. Cetina A., F. González C., A. Trinidad S. y J.R. Aguirre. 2001. Estructura forestal de un bosque de mangles en el noreste del estado de Tabasco, México. Revista Ciencia Forestal en México 25(90):73-101.

Curve expert 1.3. 2008. (en línea). Disponible en www.ebicom.net~dhyams/cftf.htm. Revisado el 5 de abril de 2008.

Da Silva, R.P., J. Dos Santos, E. Siza T., J.Q. Chambers, S. Nakamura y N Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. Forest Ecology and Management 166:295-301.

Dawkins, H.C. 1958. The management of natural tropical high forest with special reference to Uganda. Oxford University Press, Oxford. Imperial Forestry Institute. Paper No. 34. 155 p.

Dawkins, H.C. 1963. Crown diameters: their relationship to bole diameter in tropical trees. Forest Review 42(4):318-333.

Denslow, J.S. 1987. Tropical rainforest gaps and tree species diversity. Annual Review of Ecology and Systematics 18:431-451.

Diéguez, A.U., M. Barrio A., F. Castedo D., A.D. Ruíz G., M.F. Álvarez T., J.G. Álvarez y A. Rojo. 2003. Dendrometría. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.

Foli, E.G., D. Alder, H.G. Miller y M.D. Swaine. 2003. Modelling growing space requirements for some tropical forest tree species. Forest Ecology and Management 173:79-88.

Galán, L.R. 2007. Crecimiento y rendimiento de especies arbóreas en una plantación de enriquecimiento de acahuales en el sur de Oaxaca. Tesis de Maestría. Programa Forestal. Colegio de Posgraduados. Montecillo. México. 155 p.

García, M.E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. México, D.F. 217 p.

Grela, I.A. 2003. Evaluación del estado sucesional de un bosque subtropical de quebradas en el norte de Uruguay. Acta Botánica Brasileira 17(2):315-324.

Hall, R.C. 1944. A vernier tree-growth band. Journal of Forestry 42:742-743.

Harold, W. y Hocker Jr. 1984. Introducción a la Biología Forestal. Primera edición en Español. Traducido por F.A. Bellomo López. AGT EDITOR S.A. México. 446 p.

Hubbell, S.P., R.B. Foster, S.T. O'Brien, K. Harms, R. Condit y B. Wechsler. 1999. Light-gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a Neotropical forest. Science 283:554-557.

Klepac, D. 1983. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. 2ª. ed. Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.

Lima, L.M., P. Ferreira, C.J. Tavares y J.K. Bastos. 2007. Anti-inflamatory and analgesic activities of the ethanolic extracts from Zanthoxylum riedelianum (Rutaceae) leaves and stem bark. Journal of Pharmacy and Pharmacology 59(8):1151-1158.

Liming, F.G. 1957. Homemade dendrometers. Journal of Forestry 55:575-577.

López, A.J.L., J.I. Valdez H., T. Terrazas y J.R. Valdez L. 2006. Crecimiento en diámetro de especies arbóreas en una selva mediana subcaducifolia en Colima, México. Agrociencia 40(1):139-147.

Louman, B.,J. Valerio, W. Jiménez. 2001. Bases ecológicas. *In*: B. Louman, D. Quirós y M. Nilsson (editores). Silvicultura de bosques latifoliados húmedos con énfasis en América Central. Serie Técnica. Manual Técnico No 46. CATIE. Costa Rica. pp:19-78.

Lozada, J.R y E. Arends. 2000. Clasificación ecológica de especies, con fines de Aprovechamiento Forestal en la estación Caparo. Revista Forestal Venezolana 44(1):81-91.

Makocki, M.W. y J.I. Valdez H. 2001. Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of México: Implications for their management. *In*: Proceedings of the IUFRO Joint Symposium on Tree Seed Technology, Physiology and Tropical Silviculture. College of Forestry and Natural Resources. University of the Philippines, Los Baños. pp:85-96.

O'Brien, S.T., S.P. Hubbell, P. Spiro, R. Condit y R.B. Foster. 1995. Diameter, height, crown, and age relationships in eigth neotropical tree species. Ecology 76(6):1926-1939.

Pennington, T.D. y J. Sarukhán K. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Texto Científico Universitario. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 523 p.

Pereira da Silva R., J. Dos Santos, E. Siza T., J.Q. Chambers, S. Nakamura y N. Higuchi. 2002. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazonia, Brazil. Forest Ecology and Management 166:295-301.

Ricker, M. y R. Del Río. 2004. Projecting diameter growth in tropical trees: a new modelling approach. Forest Science 50(2):213-224.

Russo, R.O. y C.L. Sandí. 1995. Early growth of eight native timber species in the humid tropic region of Costa Rica. Journal of Sustainable Forestry 3(1):81-84.

SAS Institute Inc. 1999. User's guide, version 8.0 for Windows. Cary, NC. 595 p.

Silva, J.N.M., J.O.P. de Carvalho, J. C.A. do Lopes, B.F. de Almeida, D.H.M. Costa, L.C. de Oliveira, J.K. Vanclay y J.P. Skovsgaard. 1995. Growth and yield of a tropical rain forest in the Brazilian Amazon 13 years after logging. Forest Ecology and Management 71:267-274.

Smith, W.R., R.M. Farrar, P.A. Murphy, J.L. Yeiser, R.S. Meldahal y J.S. Kush. 1992. Crown and basal area relationships of open grown southern pines for modelling competition and growth. Canadian Journal of Forestry and Research 22:341-347.

Sterck, F.J. y F. Bongers. 2001. Crown development in tropical rain forest trees: patterns with tree height and light availability. Journal of Ecology 89(1):1-13.

Swaine, M.D., J.B. May y I.J. Alexander. 1987. Tree populations dynamics at Kade, Ghana (1968-1982). Journal of Tropical Ecology 3:331-345.

Wadsworth, H.F. 2000. Producción forestal para América Tropical. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Servicio Forestal. Manual de Agricultura 710-S. Washington, DC. 563 p.

Worbes, M. 1995. How to measure growth dynamics in tropical trees: a review. IAWA Journal 16:337-351.

Zamudio-Sánchez, F.J. y J.L. López-Torres. 1999. Estudio de la relación área mínima contra área real de la superficie de la copa en arboles de vegetación secundaria en Campeche, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 5(2): 167-171.

Manuscrito recibido el 6 de Noviembre de 2008
Aceptado el 7 de noviembre de 2009

Este documento se debe citar como: Manzano-Méndez, F., J. I. Valdez-Hernández, Miguel Ángel López-López y Humberto Vaquera-Huerta. 2010. Crecimiento en diámetro de *Zanthoxylum kellermanii* P. Wilson en una selva perennifolia del norte de Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 16(2):19-33.

ARTICULO DE INVESTIGACIÓN

Evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*)

Evaluation of drying schedules for chalamite wood (*Pinus pseudostrobus*)

Laura V. Aquino-González [1], Juan Rodríguez-Ramírez[1], Lilia L. Méndez-Lagunas[1] y Sadoth Sandoval-Torres[1]

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar el secado técnico convencional de madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*) utilizando un diseño factorial 2^2. Se aplicaron dos programas de secado: uno acelerado con temperatura inicial de 76 °C y final de 87 °C y otro suave con temperatura inicial de 60 °C y final de 82 °C, combinado con dos velocidades de aire: 2,05 ms^{-1} y 3,35 ms^{-1}. Las variables respuesta evaluadas fueron: tiempo de secado y calidad de la madera seca. De acuerdo con los resultados el tiempo de secado es afectado por la intensidad del programa, y la calidad de la madera depende del programa de secado y de la velocidad del aire. Estadísticamente se observó que un programa de secado con temperaturas de 76 ºC a 87 ºC y velocidad de aire de 3.35 ms^{-1} redujo el tiempo de secado y la generación de defectos en la madera seca.

PALABRAS CLAVE:
Defectos, diseño factorial, tiempo de secado, velocidad del aire.

ABSTRACT

The aim of this study is to analyze the kiln-drying of chalamite wood (*Pinus pseudostrobus*) using a 2^2 factorial design. Two drying schedule were applied: the first one was an intense schedule with temperatures from 76°C to 87°C, and the second one a soft schedule with temperatures from 60 °C to 82 °C; these schedules were applied with two air velocities: 2,05 ms^{-1} and 3,35 ms^{-1}. Drying time and quality of wood were the responses evaluated. According to the results, the drying time is affected by the schedule intensity, and the wood quality depends on the drying schedule and air velocity. Statistically, it was observed that a drying schedule with temperatures from 76 °C to 87°C and air velocity of 3,35 ms^{-1} reduces the drying time and defects development in wood.

KEYWORDS:
Defects, factorial design, drying time, air velocity.

1 Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, IPN Unidad Oaxaca. Laboratorio de Tecnologías Agroalimentarias. Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, CP 71230, Oaxaca, Oaxaca, México.
e-mail: lauvicka@hotmail.com, jrodrigr@hotmail.com, mendezll@hotmail.com, sadothsan@yahoo.com

INTRODUCCIÓN

Los madereros y fabricantes de productos maderables en México mencionan que las mejores maderas de pino son las de Durango, Chihuahua y Oaxaca debido a sus características físicas como: color, dureza, porosidad, durabilidad, y homogeneidad, (USAID, 2007). Sin embargo; los madereros del centro, norte y sur del país consideran que la madera Oaxaqueña es de las más caras del mundo debido a que el transporte en el estado es de los más caros, lo cual incrementa el costo de la madera. Otro factor que incrementa el costo de la madera es la calidad, la cual se determina en función de la superficie utilizable ó libre de defectos (nudos, bolsas de resina, fisuras, rajaduras, manchas y otros).

Una opción para reducir los costos e incrementar la calidad de la madera es la comercialización de madera con un contenido de humedad (CH) del 10%, obtenida con el secado solar ó el secado técnico convencional (Wiberg *et al*, 2000); el contenido de humedad se define como el peso de agua presente en una pieza de madera (en condición verde), expresado en función del peso anhidro (en condición seca). Sin embargo por las limitantes económicas de Oaxaca, el secado de madera se realiza en su mayoría al aire libre y sin control, debido a que este proceso tiene una duración de 5 a 7 meses hasta alcanzar un CH del 12 al 10% se generan contracciones y deformaciones que reducen la calidad y valor agregado de estas maderas. El secado artificial ó estufado constituye una fase del proceso de industrialización de la madera aserrada, en este proceso se combinan temperaturas de bulbo seco (TBS) y bulbo húmedo (TBH), humedades relativa (HR %) y velocidades de aire (Simpson, 1994; Carlsson, 2002; Solís *et al*, 2003; Aytekin *et al*., 2009).

Un programa de secado se establece de acuerdo con la especie, espesor y uso final de la madera; en este proceso se considera la relación entre el balance de calor transferido por el flujo de aire a la superficie del material y del transporte de agua del centro a la superficie del mismo. El proceso de secado consta de tres fases determinadas por la variación de la velocidad del secado: una fase de calentamiento una fase de secado y una de acondicionamiento; el movimiento del agua a través de la madera dependerá de las propiedades físicas del material y la velocidad del secado, la cual es controlada por las condiciones externas (temperaturas, velocidad de aire, humedad relativa); en la fase higroscópica, la velocidad de secado es controlada por la resistencia interna; en la tercera fase el contenido de humedad de la madera se uniformiza hasta alcanzar el equilibrio (Kollman y Cotê, 1968; Rosen, 1983; Jankowsky, 1995).

La madera seca sufre cambios en sus propiedades físicas que producen esfuerzos, contracciones y grietas (Sandoval-Torres, 2009). La contracción causa defectos tales como: endurecimiento, colapso celular, grietas, rajaduras y torceduras (Álvarez y Fernández, 1992; Langrish *et al*., 1997; Blakemore, 2008; Bustos *et al.* 2009), estos pueden ser ponderados para determinar la calidad del secado (Kauman y Mittak, 1966). De acuerdo a Brooke y Langrish (1997), el estrés formado dentro de la madera produce una contracción y expansión térmica provocada por los gradientes de humedad y temperatura.

OBJETIVO

Evaluar programas de secado técnico convencional para madera de pino chalamite (*Pinus pseudostrobus*) y analizar su efecto en el tiempo de secado y en la calidad de la madera.

METODOLOGÍA

Selección y preparación de la muestra

En este estudio se utilizó madera de pino chalamite (*Pinus pseudostrobus*) muestreada en el Distrito de San Miguel Aloapan ubicado de la Sierra Norte de Oaxaca. Solo se seleccionó un árbol de esta especie debido a que las pruebas de de secado se realizaron en un secador prototipo y el objetivo principal fue obtener resultados preliminares del secado de esta especie. El árbol seleccionado tenía una altura de 20 metros, con diámetro de 60 cm con corteza, y 54 cm sin corteza. El tronco se seccionó en 5 trozas, de las cuales se obtuvieron 12 tablas con dimensiones de 2,5 cm x 20 cm x 256 cm (Figura 1). Por cada tabla se obtuvieron 4 especímenes de 2,5 cm x 20 cm x 50 cm y 2 probetas de 2,5 cm x 2,5 cm x 20 cm. para determinar el contenido de humedad. En total se obtuvieron 32 especímenes y 64 probetas.

Los especímenes y probetas se pesaron inmediatamente después del corte en una balanza Navigator marca Ohaus de 8000 g ± 0,5 g. El peso medido se consideró como peso en verde. Los especímenes se sellaron por los costados con silicón y se mantuvieron en una solución de pentaclorofenato de sodio, para evitar la pérdida de humedad y evitar la aparición de mancha azul en dichos especímenes.

Determinación de Contenido de Humedad (% CH)

Las probetas obtenidas de cada muestra, se secaron en una estufa de vacío Marca Shelab a una temperatura de 103 ± 2 °C hasta alcanzar un peso constante.

El contenido de humedad (CH) se calculó con la metodología propuesta por Simpson (1991), usando la siguiente relación:

$$CH = \left[\frac{P_h - P_s}{P_s} x100 \right] \% \qquad (1)$$

Durante el proceso de secado el peso seco calculado de las especímenes se determinó con la siguiente relación:

$$PSC = \frac{P_h}{100 + CH} \times 100 \qquad (2)$$

Diseño de experimentos y determinación de variables respuesta

Para establecer los programas de secado se siguió la metodología propuesta por Simpson (1996). Para elaborar el programa de secado se midió la densidad de la madera en un esteropicnómetro marca Quantachrome modelo SPY-5DC, la densidad real fue de 1,4603 g/cm3; con este valor se seleccionó la temperatura

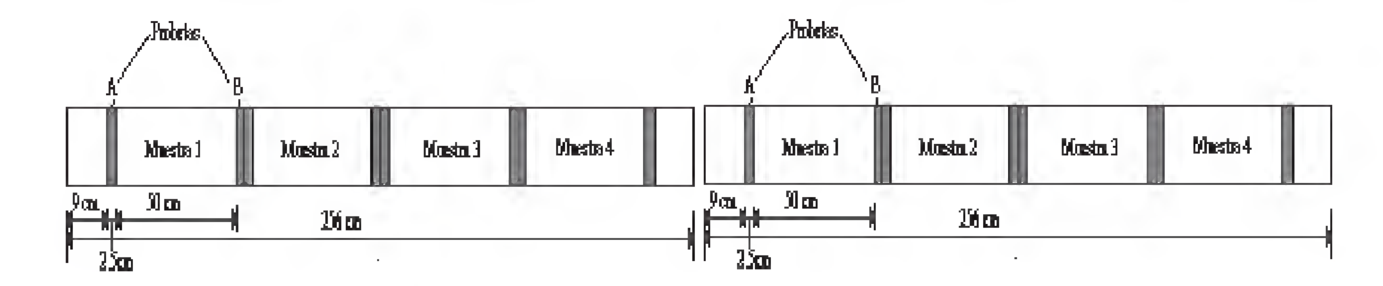


Figura 1. Corte de la tabla para obtener 4 especímenes para secar y 8 probetas para CH.

de bulbo seco (*TBS*), temperatura de bulbo húmedo (*TBH*). Con el Contenido de Humedad Inicial (CH_i) se seleccionaron las condiciones del programa de secado: Humedad relativa (%*HR*), contenido de humedad en equilibrio (*CHE*), y coeficiente de secado (*CS*). El coeficiente de secado se calcula dividiendo el contenido de humedad en equilibrio entre el contenido de humedad de la muestra en la etapa correspondiente. En las tablas 1 y 2 se muestran los programas de secado aplicados en este estudio.

Los especímenes de madera con dimensiones 2,5 cm x 20 cm x 50 cm se colocaron dentro de un secador tipo túnel (Rodríguez *et al.,* 2001), en donde el aire fluye uniforme y longitudinalmente entre las tablas. Este flujo de aire se genera con un ventilador centrífugo marca ARME y se controla con un variador de frecuencia marca ABB. Las velocidades de utilizadas fueron 2,05 ms^{-1} y 3,35 ± 0,05 ms^{-1}.

El sistema se humidificó con un generador de vapor marca Anghinetti modelo TV/62F; la humedad relativa (% *HR*) y temperatura se midieron con un sensor humicap marca Vaisala modelo HMP234 colocado dentro del túnel, el calentamiento se controló con un controlador PID regulando la temperatura de acuerdo a las etapas del programa de secado (Tabla 1 y 2).

Las condiciones del secado se aplicaron siguiendo un diseño de experimentos factorial 2^2, en cual se combinan dos programas de secado (acelerado y suave) y dos velocidades de aire (2,05 ms^{-1} y 3,35 ms^{-1}), obteniendo un total de 8 pruebas experimentales (Tabla 3). Para cada prueba del diseño se usaron 4 especímenes de 2,5x20x50 cm. El secado termina cuando el contenido de humedad promedio es del 10% en los especímenes.

En México existen normas para la clasificación de la madera aserrada la cual se realiza de acuerdo a la presencia de nudos, fibra desviada, defectos de crecimiento, madera juvenil entre otros, sin embargo aun no se ha establecido un método estandarizado por lo cual cada región establece sus propios procedimientos. Por tal motivo, en el presente estudio se utilizó la Norma Chilena 993 EOf 72 (1993), que en la actualidad ha servido para cuantificar la calidad de la maderas suaves y latifoliadas en diversos estudios (Guerrero, 1980; Fuentes, 1991; Sandoval *et al*, 2004; Pérez *et al*, 2007) y que a la vez es una metodología de fácil comprensión por los operarios secadores en el estado de Oaxaca.

De acuerdo con la Norma Chilena, para cuantificar la calidad de la madera seca se manejaron 4 valores porcentuales máximos permisibles ó grados de intensidad de defectos correspondientes a la dimensión de la tabla estufada; los defectos se determinaron con la metodología de Kauman y Mittak (1966): se contabilizaron las rajaduras y grietas con mayor longitud y se realizó la sumatoria por muestra; para medir arqueadura, torcedura, acanaladura y encorvadura la muestra se colocó en superficie lisa y se registró la distancia que se forma entre el defecto y la superficie. El valor obtenido por defecto se multiplicó por el factor de desclasificación (Tabla 4) para determinar la media ponderada de desclasificación o grado total de desclasificación (*MPD*), en el Tabla 5 se ubicó la media para establecer el índice de calidad de las tablas secas (*ICS*) y las condiciones de operación del secado (CDS). El tiempo de secado y calidad de la madera seca se evaluaron con un análisis de varianza y un alfa de 0,05 usando NCSS 2001.

Tabla 1. Programa de secado acelerado.

Etapa	% CH	TBS (°C)	TBH (°C)	%HR	CHE	CS
0	-	76,6	76,6	100	-	-
1	120-70	76,6	65,5	60	7,8	0,111
2	70-60	76,6	62,7	52	6,7	0,111
3	60-50	76,6	60	45	5,7	0,114
4	50-40	76,6	57,2	39	5,1	0,127
5	40-35	76,6	57,2	39	5,1	0,145
6	35-30	76,6	57,2	39	5,1	0,170
7	30-25	82,2	62,7	41	5,0	0,200
8	25-20	82,2	62,7	41	5,0	0,200
9	20-15	87,7	68,3	43	4,9	0,245
10	15	87,7	60	28	3,3	0,220
11	8	87,7	77,7	66	8	1,000
12	10	87,7	83,8	88	13	1,300

Tabla 2. Programa de secado suave.

Etapa	% CH	TBS (°C)	TBH (°C)	%HR	CHE	CS
0	-	60	60	100	-	-
1	120-70	60	56,1	82	13,8	0,230
2	70-60	60	54,4	75	11,9	0,238
3	60-50	60	51,6	64	9,6	0,240
4	50-40	60	48,8	54	8,0	0,228
5	40-35	60	46,11	46	6,9	0,230
6	35-30	65,5	48,8	41	5,8	0,232
7	30-25	71,1	51,6	37	5,1	0,255
8	25-20	76,6	57,2	39	5,0	0,333
9	20-15	82,2	54,4	26	3,3	0,220
10	15	82,2	72,2	65	8	1
11	8	82,2	78,3	85	13	1,300

Tabla 3. Diseño factorial 2^2 para el secado de *Pinus pseudostrobus.*

Prueba	Programa	Velocidad de aire (m/s)
1	Suave	3,35
2	Acelerado	3,35
3	Acelerado	2,05
4	Suave	2,05
5	Suave	2,05
6	Suave	3,35
7	Acelerado	3,35
8	Acelerado	2,05

Tabla 4. Porcentaje de valores permisibles de defectos para una muestra de 2,5x20x50 cm.

Defecto	Características a medir respecto a:	Valor máximo permisible en % de su dimensión total			
		g1	g2	g3	g4
Rajaduras	al largo	3,00	5,00	8,00	>800
Grietas	al largo	10,0	20,00	30,00	>300
Arqueadura	al largo	0	2,00	4,00	>400
Encorvadura	al largo	0	1,00	1,50	>1,50
Torcedura	al largo	0	1,00	1,50	>1,50
Acanaladura	al ancho	0	0,50	1,00	>1,00

Grados de calidad por factor de desclasificación, (Kauman y Mittak, 1996).

Grado	Factor de desclasificación	Intensidad de defecto
1	0,00	Ausente
2	0,50	Ligero
3	2,00	De regular a fuerte
4	2,50	Intenso

Tabla 5. Clasificación de la calidad del secado (Kauman y Mittak, 1996).

MEDIA PONDERADA DE DESCALIFICACIÓN (MPD)	INDICE DE CALIDAD DE SECADO (ICS)	CONDICIONES DE SECADO (CDS)
0,00 a 0,00	Excelente	Adecuadas
0,01 a 0,50	Muy buena	
0,51 a 1,00	Buena	
1,01 a 1,50	Satisfactoria	Poco adecuadas
1,51 a 2,00	Regular	
2,01 a 3,00	Defectuosa	Inadecuadas
3,01 a 5,00	Mala	
Mayor de 5,00	Muy mala	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2, se muestran las cinéticas de secado de cuatro experimentos. Se observa que el programa de secado suave entra a la fase de equilibrio en 30 horas, y el programa de secado acelerado lo hace en 20 horas; esta diferencia puede ser traducida en 10 horas de diferencia de consumo energético. Se observa también que la velocidad de aire tiene una ligera influencia en las cinéticas de secado en su fase capilar (eliminación del agua libre), pues el contenido de humedad disminuye en menor tiempo. Con un programa de secado acelerado la velocidad del aire muestra un efecto de aceleración; sin embargo, el contenido de humedad de equilibrio final no es afectado por una mayor velocidad de aire, observándose lo contrario para las condiciones de secado suaves. Los programas de secado acelerados son una opción para reducir los costos por consumo eléctrico ó uso de aceites térmicos y materiales de combustión usados en el calentamiento del aire de secado.

La figura 3 corresponde a la velocidad de secado. En esta figura se observa con claridad las etapas del secado de madera en función del Contenido de Humedad. En la primera etapa se observa un aumento de la rapidez de secado, debido al calentamiento del material; la segunda etapa corresponde a la pérdida de humedad por arriba del punto de saturación de la fibra; en esta etapa la migración de agua es principalmente afectada por fuerzas capilares; la tercera etapa consiste en acondicionar las especímenes de tal forma que se homogenice la humedad en el material, para disminuir esfuerzos que deformen el material (Bollman, 1984). En esta parte el equilibrio higroscópico establece la relación de rapidez de secado, pues las propiedades del material dominan sobre las condiciones externas.

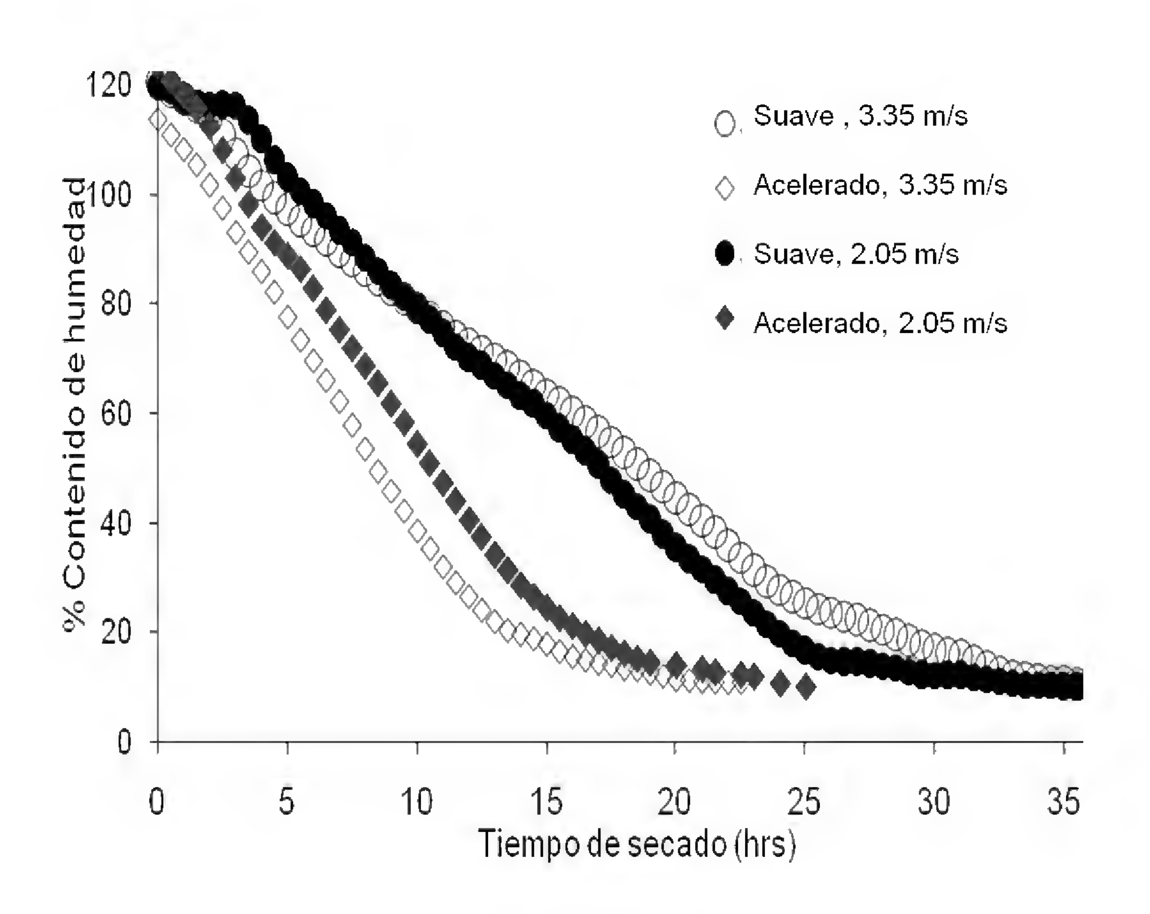


Figura 2. Cinética de dos programas de secado de pino *pseudostrobus*.

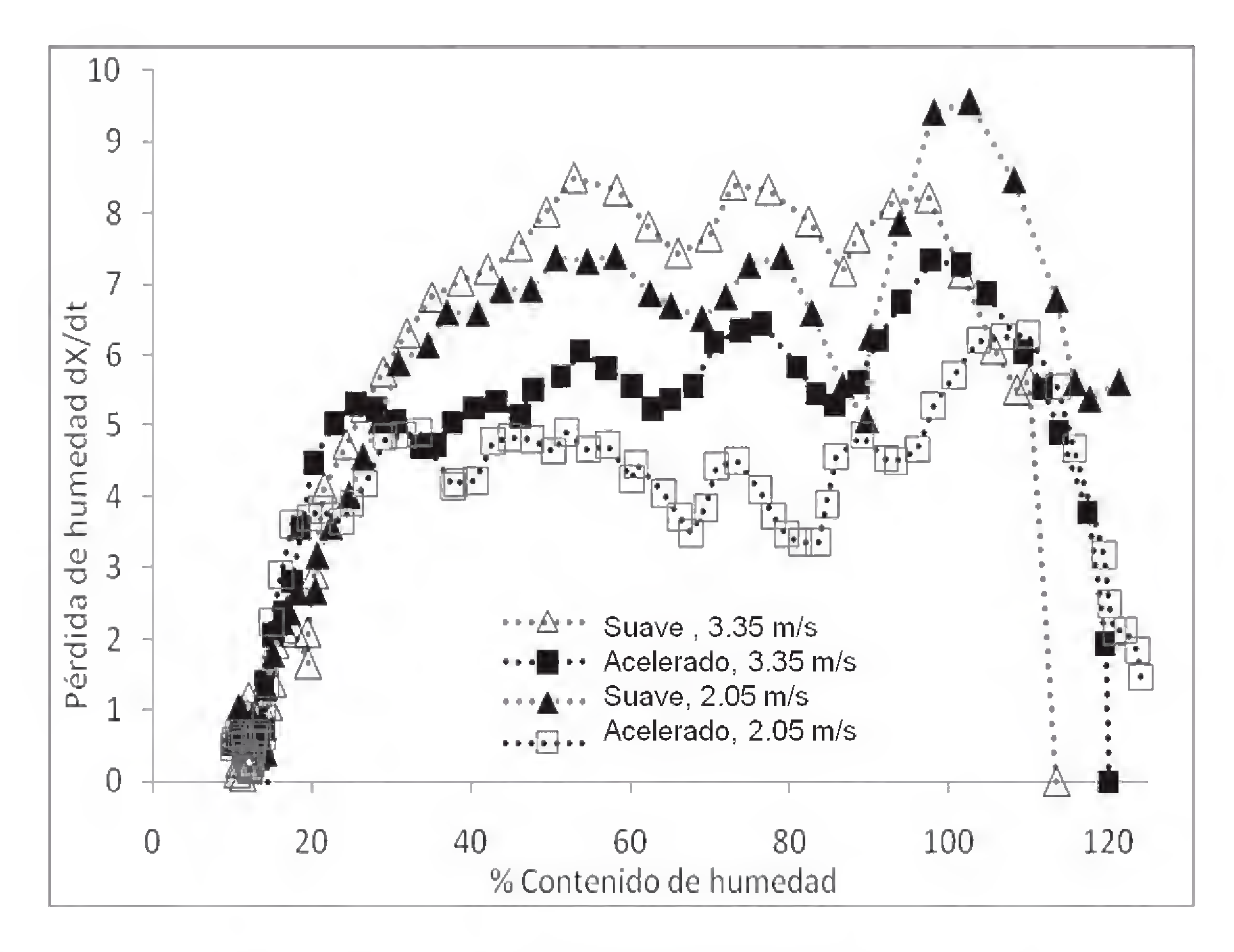


Figura 3. Perfil de la pérdida de humedad durante el secado de pino *pseudostrobus.*

En el tabla 6 se registraron los valores obtenidos de la media ponderada de defectos para clasificar la calidad de las especímenes y la calidad del secado, en las especímenes secas se observó una ligera acanaladura, lo que resulta en una condición de secado inadecuada (de acuerdo al método empleado) y en un índice de secado malo. Ahora bien, si no incluimos en el análisis este defecto por acanaladura, se pondera que la condición de secado es de inadecuado a poco adecuado, y el índice de secado de regular a malo, lo cual se debió también a que la madera usada fue de tercera calidad desde el inicio. En la práctica, este defecto por acanaladura es contra-restado colocando un sobrepeso en la pila de madera. Para comprobar ausencia o presencia de esfuerzos, se realizó una prueba de tenedor a las especímenes, que consistió en seccionar cada 0,5 cm una tabla de 2,5 cm de ancho obtenida de los extremos de las especímenes. Si las secciones no presentan deformación, el material está libre de esfuerzos. En nuestro trabajo, esta prueba se realizó por duplicado y se observó la ausencia de esfuerzos. Los resultados mostraron que las condiciones de secado intensas generan tablas de regular calidad y el secado es defectuoso, en cambio con condiciones de secado suaves la calidad del material y el secado se clasifican como malos.

En el análisis de varianza (α =0,05) se establecieron como factores el programa de secado (*P*) y la velocidad de aire (*VA*). Se observó que el programa de secado combinado con la velocidad de aire influye en la calidad en la madera seca, sin embargo, en el tiempo de secado influye únicamente el programa de secado (Tabla 7). Por lo tanto la condición aceptable de acuerdo a nuestro estudio es aplicar un programa de secado acelerado con una velocidad de aire 3,35 ms^{-1} lo cual reduce más la presencia de defectos y el tiempo de secado.

Tabla 6. Calidad del secado de acuerdo a la media ponderada de defecto.

PRUEBA	CON ACANALADURA			SIN ACANALADURA	
	Media ponderada de defectos (MPD)	Condiciones de secado (CDS)	Índice de calidad de secado (IDS)	Condiciones de secado (CDS)	Índice de calidad de secado (IDS)
Suave a 3,35 ms-1	6,000	Inadecuada	Muy mala	Inadecuada	Mala
Acelerado y 3,35 ms-1	3,725	Inadecuada	Mala	Inadecuada	Defectuosa
Acelerado y 2,05 ms-1	3,500	Inadecuada	Mala	Poco adecuada	Regular
Suave y 2,05 ms-1	4,625	Inadecuada	Mala	Inadecuada	Defectuosa
Suave y 2,05 ms-1	4,625	Inadecuada	Mala	Inadecuada	Defectuosa
Suave y 3,35 ms-1	6,750	Inadecuada	Muy mala	Inadecuada	Mala
Acelerado y 3,35 ms-1	3,750	Inadecuada	Mala	Poco adecuada	Regular
Acelerado y 2,05 ms-1	4,625	Inadecuada	Mala	Inadecuada	Defectuosa

Tabla 7. Análisis de Varianza obtenido del secado de pino chalamite.

Calidad en madera seca

Origen	DF	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Rotación F	Nivel de Probabilidad	Poder (alfa=0,05)
P	1	5,12	5,12	22,40	0,009086*	0,859140
VA	1	1,015313	1,015313	4,44	0,122780	0,290147
P/VA	1	2,152812	2,152812	9,42	0,037336*	0,522851
S	4	0,914375	0,2285938			
Ajuste total	7	9,2025				
Total	8					

Tiempo de secado

Origen	DF	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	Rotación F	Nivel de Probabilidad	Poder (alfa=0,05)
P	1	479220,5	479220,5	6,91	0,058299	0,412761
VA	1	51842	51842	0,75	0,436115	0,090254
P/VA	1	32258	3225,8	0,46	0,532759	0,074954
S	4	277519	69379,75			
Ajuste total	7	840839,5				
Total	8					

* termino significativo de alfa = 0,05

Los resultados obtenidos se compararon con estudios realizados para otras especies de pino. Milota *et al* (2000) estudiaron el efecto de las temperaturas altas en la formación de alabeos en pino amarillo del sur (SYP), los autores observaron que el secado a altas temperaturas reduce significativamente la formación de alabeos y por ende el tiempo de secado. Fuentes, (1991); Guerrero, (1980); y Pérez *et al*., (2007), mencionan que el defecto común en madera es la encorvadura, el cual desclasifica la madera y la puede colocar en un cuarto ó quinto nivel de calidad, además de que otro factor que influye en esta desclasificación es el reducido número de especímenes evaluadas.

CONCLUSIÓN

Los programas de secado aplicados en este estudio, permiten tener mayor información acerca de efecto de los variables de secado. Los resultados son aceptables en el sentido que se alcanza un contenido de humedad de equilibrio acorde a las especificaciones para su comercialización. El diseño factorial 2^2 mostró que la condición de secado mas apropiada para Chalamite (*Pinus pseudostrobus)* fue el programa de secado acelerado con velocidad de aire de 3,35 ms^{-1}, pues reduce el tiempo de secado y la presencia de defectos. Una clara diferencia en los tiempos de secado fue observado entre los programas de secado intensos y suaves, lo cual esta directamente relacionado con el nivel de temperatura; esta diferencia de tiempo de secado es importante desde un punto de vista económico, pues el consumo energético de una estufa de secado tradicional es siempre parámetro a minimizar. La calidad de la madera especímenes secas indicó una condición de secado inadecuada y una calidad defectuosa en la madera, lo cual a nivel industrial o laboratorio se podrá contrarrestar en próximos estudios con el uso de madera de primera calidad y aplicar el sobrepeso colocado en las pilas de madera.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo financiero al Instituto Politécnico Nacional (proyecto CGPI-2003-34), al SIBEJ-CONACYT (proyecto 19990505013), a la Unión Forestal "IXETO" por el apoyo recibido y a OSMOSE Mexicana por la asesoría técnica.

REFERENCIAS

Álvarez, H. y J. I. Fernández. 1992. Fundamentos teóricos del secado de la madera. MAP, Madrid p. 32-35.

Aytekin, A., G. Gunduz, B. Kaygin, S. Korkut y S.M. Onat. 2009. Drying Schedules calculations of Caminayan, Blank Pine (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* var. *pallasiana*) by computer programming. African Journal of Biotechnology 8(8):1703-1712.

Blakemore, P.A., Langrish, T.A.G. 2008. Effect of collapse of fitted diffusion coefficients for Victorian ash eucalypts. Journal Wood Science and Technology. 42:535-549.

Bollman, L. 1984. Manual para secado de madera. Luwing Bollman K.G. Manshinienfabrik. República Federal Alemana p 440.

Brooke, A.S. and T. A. G. Langrish. 1997. The simulation of stresses and strains in the drying of *Pinus radiata* sapwood: the effects of board geometry. Computers and Chemical Engineering. 21 (11): 1271-1281.

Bustos, C., R.E. Hernandez y Y. Fortin. 2009. Effect of kiln-drying on the hard-

ness and machining properties of tamarack wood for flooring. Forest Products Journal. 59(1-2):71-76.

Carlsson, P. y M. Tinnsten. 2002. Optimization of drying schedules for a mixture of boards with distribution of sapwood and heartwood. Drying Technology. 20(2):403-418.

Fuentes-Salinas, M. 1991. Secado de madera de *Pinus radiata S. Don* impregnada con sales hidrosolubles CCA. Tesis de maestría Universidad Austral de Chile Valdivia, Chile, p 162.

Guerrero, M. G. 1980. Comportamiento de tablas de *Eucaliptos globulus labill,* crecido en Culcura, sometidas a un programa de secado australiano. Convenio UACH/Sociedad Agrícola y Forestal Colcura S. A. Facultad de Ingeniería Forestal. Informe de Convenio No. 25.

Instituto Nacional de Normalización (INN). 1993. Madera, procedimientos y criterios de evaluación para clasificación. Norma Chilena 993 EOf 72 Santiago Chile.

Jankowsky, I. P. 1995. Equipamentos e processos para a secagem de madeiras. Procedem of. Seminário Internacional de utilização da madeira de E*ucalipto* para serraria. IPEF piracicaba. p 109-118.

Kauman, W.G., y G. Mittak. 1966. The effect of thermal degradation on shrinkage and collapse of wood from 3 Australian species, Forests Product Journal, 11(9):445-452.

Kollmann F. F. P y W. A. Cotê. 1968. Principles of Wood Science and Technology. V. I. Solids wood. Springer Verlag, Berlin p. 214.

Langrish, T.A.G., A.S Brooke, C.L Davis, H.E Mush, y G.W. Barton. 1997. An improved drying schedule for Australian iron bark timber: Optimization and experimental validation. Drying Technology. 15(1):47-70.

Milota M.R., 2000. Warp and shrinkage of hem-fir stud lumber dried at conventional and high temperatures. Forest Products Journal 50(11/12):79-84.

Pérez P., R.A. Ananías y G. Hernández. 2007. Estudio experimental del secado de renovales de canelo *Drymis winteri*. Maderas, Ciencia y tecnología 9(1):59-70.

Rodríguez R.J, L.L. Méndez, A.C. Martínez y N.F. Diego. 2001. A closed loop tunnel for drying-kinetics research. Inter-American Drying Conference, Boca del Río Veracruz, México p. 499-504.

Rosen H. N, 1983. Recent advances in the theory of drying lumber. Proceedings of the IUFRO. Division V Conference, Southern Illinois University, USDA, Madison. p 32-64.

Sandoval-Torres, S. 2009. Modelación matemática del secado convencional de madera. Madera y Bosques 15(1):75-89.

Sandoval-Torres, S., J. Rodríguez-Ramírez, L.L. Méndez-Lagunas y M. Fuentes-Salinas. 2004. Flujo de aire sobre el proceso de secado de madera de encino (*Quercus Candicans Nee*). Información Tecnológica 15 (1):11-16.

Simpson, W.T. 1994. Grouping tropical wood species for kiln drying using mathematical models. Drying Technology 12(8):1877-1896.

Simpson, W.T., 1996, Method to estimate dry-kiln schedules and

species groupings: Tropical and temperate hardwoods. USA Forest Service, FPRL Madison Res. Pap. FPL-RP-549-557 pp.

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplrp/fplrp548.pdf

Solís Rodríguez, L.E., M.A. Cerón Cardeña e I. González Ahumada. 2003. Diseño y operación de una estufa solar para secar madera. Revista Ingeniería: 35-48.

USAID. 2007. Empresas Forestales Comunitarias en Países Forestales Tropicales. Situación Actual y en Potencia. Octubre, p 30-35.

Wiberg, P., S.M.B. Sehlstedt, y T.J Morén. 2000. Heat and mass transfer during sapwood drying above the fiber saturation point. Drying Technology: An International Journal, 1532-2300, 18(8):1647-1664.

Manuscrito recibido el 19 de marzo de 2009
Aceptado el 19 de octubre de 2009

Este documento se debe citar como: Aquino-González, L.V., J. Rodríguez-Ramírez, L.L. Méndez-Lagunas y S. Sandoval-Torres 2010. Evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*). *Madera y Bosques* 16(2):35-46.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México

Use and management of firewood in dwellings of six localities from Yucatán, México

Joaquín Quiroz-Carranza[1] y Roger Orellana[1]

RESUMEN

Se analizó el patrón de preferencias en el uso de leña combustible en 1153 viviendas de seis localidades de Yucatán, mediante la aplicación de cuestionarios estructurados a informantes clave y muestreos en los sitios de extracción. Las localidades de estudio presentan heterogeneidad en la composición florística y distancia a la ciudad capital de estado, factores que modifican las preferencias y hábitos de consumo. El promedio de consumo en las localidades de estudio oscilo entre 1,26 y 2,89 kg/día/habitante, el promedio general de los sitios estudiados fue de 2,06 kg/día/habitante. La leña se extrae de la vegetación aledaña, la milpa y el solar. La colecta se hace a una distancia promedio de 3,8 km respecto a la vivienda. Los medios básicos para su transporte son el triciclo, la carga directa en la espalda del usuario y mediante uso de vehículo automotor. La leña se colecta fundamentalmente como material seco desprendido o seco en pie, debido a su menor peso, facilidad de acarreo y rápida ignición. Los usos fundamentales son la cocción de alimentos y calentamiento de agua de baño. 41 son las especies más usadas como combustible, pero las principales son: *Acacia gaumeri, Havardia albicans, Lysiloma latisiliquum, Gymnopodium floribundum, Bursera simaruba, Caesalpinia gaumeri, Conocarpus erectus* y *Piscidia piscipula,* debido a su mayor abundancia, fácil encendido, duración en el fuego y/o baja emisión de humo.

PALABRAS CLAVE:
Bioenergía, consumo de leña, leña, Yucatán.

ABSTRACT

The consumption patterns of domestic firewood was analyzed in 1153 homes of six localities of Yucatan, Mexico, through questionnaires structured applied key informants and field samplings in the extraction sites. In the studied area a high heterogeneity was found, depending on the floristic composition of the site, as well as the relative distance from the place to the metropolis; both factors modify the consumption habits. The average consumption of firewood in the six studied places is of 2,06 kg/day/person, coming from the neighbor vegetation, as well as from the cultivation field and the particular orchards. The recollection is made at a mean distance of 3,8 km from the towns. The basic transportation is by tricycles, the direct load in the collector's back and by truck. The firewood is collected basically as fallen or standing dry material, due to its low relative weight, transporting easiness and rapid ignition. The extracted firewood is used basically for the domestic consumption in the cooking of foods and water boiling. The interviewed users have preference for 41 woody species as fuel, but the main ones are: *Acacia gaumeri, Havardia albicans, Lysiloma latisiliquum, Gymnopodium floribundum, Bursera simaruba, Caesalpinia gaumeri, Conocarpus erectus* and *Piscidia piscipula*, due to their higher abundance, flammability, duration in the fire and low smoke emissions.

KEYWORDS:
Bioenergy, firewood consumption, firewood, Yucatán.

1 Universidad Intercultural Maya de Quintana Roo. Unidad de Recursos Naturales. Centro de Investigación Científica de Yucatán. cenciart@yahoo.com, orellana@cicy.mx.

INTRODUCCIÓN

La leña en México tiene múltiples usos entre los que destacan la calefacción de la vivienda, cocción de alimentos y calentamiento agua para consumo humano (Ghilardi *et al.*, 2007). Así mismo se usa en pequeñas industrias tales como ladrilleras, talleres de alfarería, panaderías y otras (Masera y Fuentes, 2006). Esta diversidad de usos depende de las propiedades y características de la madera originaria de la que se extraiga la leña.

En México el uso de la leña como combustible, tiene varias consecuencias socioeconómicas y ambientales, entre las que destacan: *1)* la satisfacción de los requerimientos de energía doméstica de una amplia población rural y urbana marginada que se estima entre 25 y 28 millones (Masera y Fuentes, 2006), de los cuales 19 millones la usan de forma exclusiva y 9 millones en combinación con gas LP (Díaz, 2000; Best, *et al.,* 2006); 2) la perturbación de las comunidades vegetales, con repercusiones en la flora y fauna asociada, cuando se supera la capacidad de recuperación o resiliencia del ecosistema, 3) el impacto social, económico y de salud derivados de los procesos de acopio, transporte y combustión ineficiente, así como 4) los efectos potenciales sobre la atmósfera global, el clima y la salud humana; aunque, en este sentido se estima que las emisiones de CO_2 derivadas de la combustión de leña no supera el 4% de la emisiones globales (Ghilardi *et al.,* 2007). Así mismo se considera que la combustión de leña no produce CO_2 neto, ya que este proceso libera la misma cantidad de CO_2 que absorbe el ambiente (Masera y Fuentes, 2006).

Los patrones de consumo de leña en las comunidades humanas se modifican de acuerdo al clima local, los hábitos culinarios, la forma de vida, la eficiencia del equipo utilizado en la cocina (fogón o estufa eficiente), la naturaleza de la leña y su disponibilidad; por factores como la tradición, el sabor dado a los alimentos, el tipo y origen del recipiente usado, los hábitos de cocina, el tipo de alimentos; el nivel de ingresos, el costo de la leña, la disponibilidad del recurso forestal y el número de especies utilizadas como leña. La cantidad de leña utilizada por la familia está en función del número de comidas durante el día y miembros de la familia, así como de tiempo que dura encendido el fogón (Reiche, 1985; del Amo, 2002; del Amo e Yllescas, 2002; Vergara, 2002 y Arias, 2002).

El uso y manejo doméstico de leña en las zonas rurales es un proceso fundamentalmente de autoconsumo, del cual se encargan generalmente las mujeres y los niños (Best, *et al.,* 2006), que suelen hacerlo en las proximidades de la vivienda; mientras que el hombre lo hace de manera conjunta con sus labores agrícolas o en jornadas específicas. En ese caso, la leña se recoge de la vegetación dispersa en el ambiente local: árboles aislados, arbustos, restos de la poda de frutales, etc. (De Montalembert y Clément, 1983).

El uso y manejo de la leña es un proceso selectivo cuyo impacto sobre la cobertura vegetal depende de la intensidad de colecta y abundancia del recurso, de tal manera que:

a) Cuando se colectan las ramas caídas de los árboles, no se altera la estructura y función esenciales del bosque, por lo que la producción de combustible es relativamente estable y constante.

b) Si esta incluye el corte de ramas verdes de los árboles, se afecta la estructura y funcionamiento de la vegetación,

se abren claros y se modifica el microclima de la selva. Ante esta perturbación la regeneración natural puede recuperar las condiciones previas a la colecta, siempre y cuando disminuya la presión extractiva.

c) Si se utiliza el árbol completo, se altera la estructura y función del parche, se abren condiciones a las herbáceas y arbustivas inútiles como fuente de leña. El agotamiento de las especies preferidas como leña, es la pauta para utilizar otras especies, lo que conlleva a un escalamiento destructivo de la selva o bosque (Parra, 1989).

El uso de la leña como recurso natural incluye los procedimientos para hacerse servir de algo, como son la extracción, la recolección y su aplicación. El manejo de la leña es un proceso que incorpora la apropiación, el conocimiento espacio-temporal del recurso, además de su transporte a los sitios de residencia. Este proceso puede diferenciarse por el grado o nivel de adjudicación, de tal manera que: i) la apropiación del recurso silvestre, se da cuando se localiza o bien se conoce la disponibilidad del recurso espacial y temporalmente; ii) la tolerancia que no incluye la dispersión, ni siembra, pero se tolera cuando otros miembros de la vegetación son eliminados. Se favorece su presencia al eliminar la competencia; iii) el fomento, incluye su dispersión, siembra y favorecer la reproducción de individuos evitando su depredación, la competencia y mejoramiento de algunas condiciones del medio en que se desarrolla y iv) el cultivo, cuando los individuos son seleccionados, protegidos de la competencia, la depredación y mejorando las condiciones del medio en que se desarrolla (Flores, 2001).

El uso y manejo de combustibles derivados de la biomasa tales como la leña, está regido por tres aspectos fundamentales: el ambiental, el social y el económico.

En el aspecto ambiental, se provoca diversos efectos sobre las comunidades vegetales, sobre todo cuando con la extracción y colecta de leña se dan procesos sinérgicos de degradación (Orellana, 1992), como son la construcción de carreteras, casas unifamiliares o para el turismo, basureros comunales a cielo abierto, la explotación de poblaciones naturales, entre otras (Orellana y Durán, 1992; Flores y Espejel, 1994; Sánchez y Rebollar, 1999).

En el nivel social y económico, la leña y otros derivados de biomasa vegetal, representan la única fuente de combustible o una alternativa disponible para un segmento importante de la población. Adicionalmente genera procesos comerciales de pequeña escala e ingresos alternos para algunos pobladores, además las actividades culinarias están afectadas por patrones culturales, en donde la leña entrega sabores y olores especiales a los alimentos (Martínez, 1985).

El manejo y transporte de la leña combustible se realiza en unidades estandarizadas como son: *la tarea*, formada aproximadamente por 400 leños; *la carga*, constituida por 80 leños y *el rollo* por ocho o 12 leños en trozos de aproximadamente 45 cm de longitud y 6-8 cm de diámetro (Martínez, 1985).

De acuerdo con Ghildardi *et al.* (2007), en México el 25% de la población usa leña combustible como energético principal o en combinación con gas LP. En Yucatán, la aplicación de leña o carbón para uso doméstico se realizaba en 1990, en el 37,1% de las viviendas, con una población equivalente al 41,1 % del total del estado (INEGI, 1990). Diez años después se usaba en el 39% de la

viviendas, esto es 145 465 viviendas (INEGI, 2000a). El promedio de habitantes por vivienda en el estado era en el año 2000 de 4,4 personas; esto representa que cerca de 640 mil habitantes en el estado satisfacían sus requerimientos energéticos en su vivienda a través de un combustible diferente al gas. Yucatán es uno de los doce estados de México con mayor consumo de leña como combustible en el ámbito doméstico (INEGI, 2000a).

La leña constituye un recurso fundamental de material combustible en muchas viviendas y los estudios sobre su uso y manejo en Yucatán son escasos. Únicamente se cuenta con la obra de Sánchez (1993), las referencias hacia el uso de las leguminosas como leña en Flores (2001) y los datos del INEGI (1990, 2000 y 2000a) sobre el tipo de combustible usado en las viviendas a nivel municipal. Debido a la necesidad de contar con información más detallada, se seleccionaron seis localidades que reflejan un gradiente de variación de comunidades vegetales, clima y distancia a la metrópoli, factores que modifican los hábitos de consumo.

OBJETIVOS

El propósito de este trabajo ha sido: a) estimar, desde la perspectiva del usuario, la cantidad de leña combustible consumida *per cápita* en las viviendas de la zona noroeste del estado de Yucatán, México; b) identificar las preferencias sobre las especies vegetales usadas como combustible; c) conocer las características socioeconómicas y culturales de los usuarios de leña, y d) determinar la abundancia local de las especies arbóreas y arbustivas preferidas como leña combustible en la región.

METODOLOGÍA

Para conocer las características socioeconómicas, culturales y los procedimientos que utiliza la población local para aprovechar la leña, así como las especies preferidas y los volúmenes de leña utilizados, se aplicó un cuestionario estructurado a informantes clave, entendiendo por estos a cualquier persona que pudiera brindar información detallada (Pelto y Pelto, 1978) sobre el uso y consumo de leña en la unidad de estudio: la vivienda. Este procedimiento se aplicó en 1153, que representan el 37,9% de las viviendas de seis localidades semirrurales de la región litoral oeste y metropolitana de Yucatán, donde se usa leña combustible de forma recurrente: Caucel (comisaría de Mérida), cabecera municipal de Ucú, Texán de Palomeque en el municipio de Hunucmá, cabecera municipal de Tetíz, cabecera municipal de Kinchil y cabecera municipal de Celestún (ver Figura 1).

La aplicación del cuestionario estructurado se llevó a cabo de la siguiente manera: utilizando los croquis de localidades publicado por INEGI (2000) a través de Sistema para la consulta de la Información Censal (SINCE, 2000), se realizaron en cada localidad, recorridos por manzana, iniciándolo en la esquina noroeste. Se seleccionaba únicamente aquellas casas donde se encontraba algún informante. En cada una de las viviendas se preguntaba al informante clave, hombre o mujer mayor de 18 años, habitante de la misma, sí en su vivienda se utilizaba leña como combustible o no. Si la respuesta era positiva, se aplicaba en cuestionario.

Si la persona lo autorizaba, se estimaba la cantidad de leña para consumo. Para cuantificar el peso promedio de los leños, se utilizó el promedio registrado de 95 leños secados al aire, mediante la medición de su longitud (cm), grosor (cm) y peso (kg).

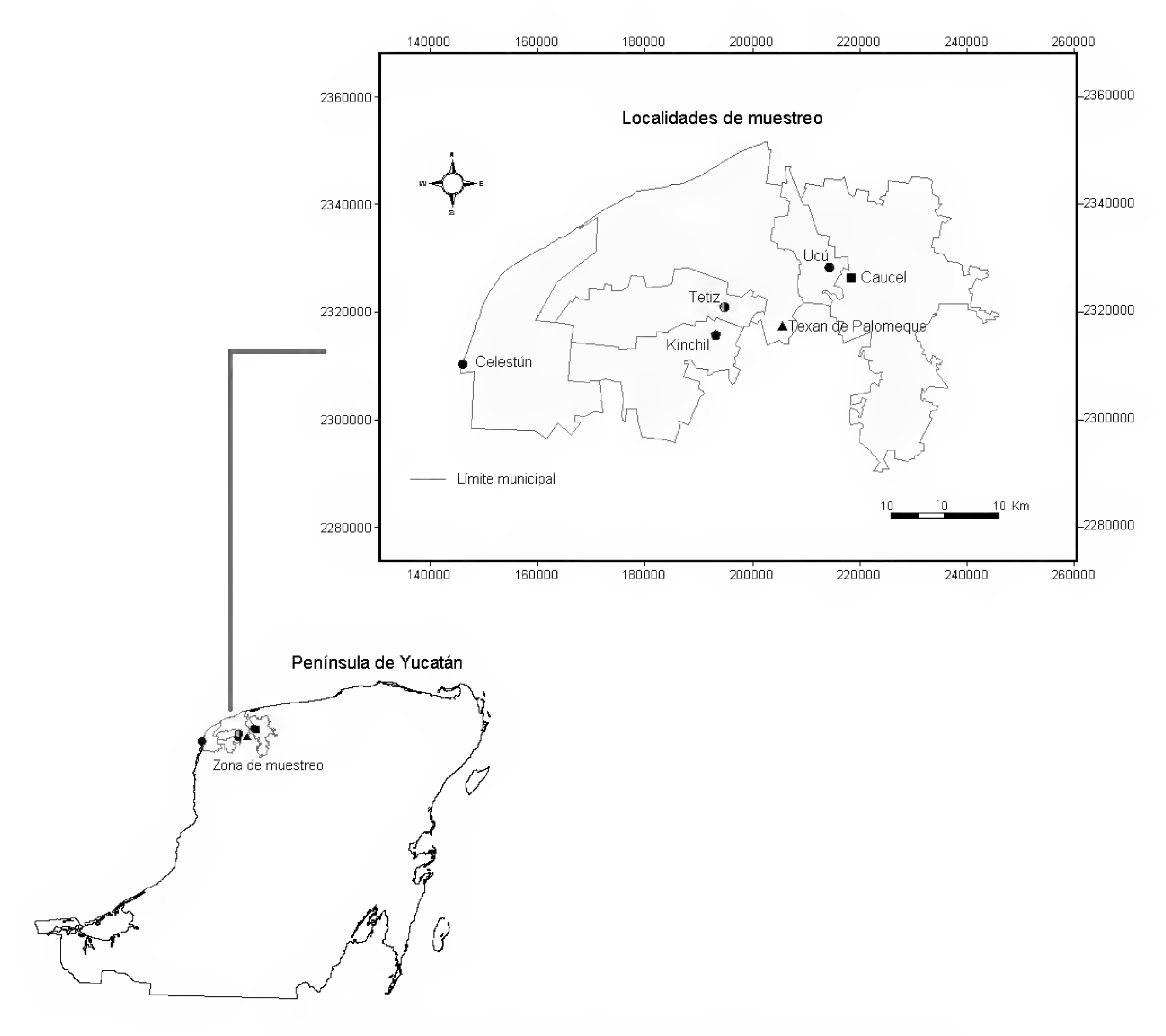


Figura 1. Mapa de localización de sitios de estudio.

Para conocer la abundancia de las especies utilizadas como leña se llevaron a cabo recorridos a las zonas de recolección señaladas por los habitantes; estos se hicieron en compañía de informantes clave de cada localidad, generalmente leñadores o recolectores. En cada una de las seis zonas se trazaron transectos de 200 x 2 m (400 m^2). En el transecto correspondiente se cuantificaron e identificaron las especies arbóreas y arbustivas mayores de 2 m de altura y con un diámetro a la altura del pecho (DAP) mayor de 3 cm. Esto se hizo con la finalidad de corroborar la presencia o ausencia en la vegetación aledaña a la localidad, las especies mencionadas por los usuarios. Los trozos de leña de las especies colectadas se transformaron en tablillas, se determinó su nombre científico, se registraron y entregaron al herbario del Centro de Investigación Científica de Yucatán (con siglas CICY).

Descripción de la zona de estudio

El estado de Yucatán colinda al este con Quintana Roo y al oeste con Campeche. Los sitios de estudio se localizan en el extremo norte de la Península del mismo nombre, frente al Golfo de México y el canal de Yucatán.

1. La comisaría de Caucel, pertenece al municipio de Mérida, y está ubicado en la región metropolitana del estado de Yucatán. Colinda al este con Mérida, al oeste con el municipio de Ucú, al norte con las comisarías de Cheuman y Dzityá y al sur con la comisaría de Susulá., todas pertenecientes al municipio de Mérida. Se encuentra a los 21º 00´ 53´´ de latitud norte y a los 89º 42´ 25´´ de longitud oeste (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

2. El municipio de Ucú se encuentra ubicado en la región metropolitana de la entidad, entre los 20º 58´ y 21º 10´ de latitud norte y entre los 89º 44´ y 89º 51´ de longitud oeste. Colinda al norte con el municipio de Progreso; al sur con el municipio de Umán; al este con el municipio de Mérida y al oeste con el municipio de Hunucmá, se encuentra a 15 km de la Ciudad de Mérida (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

3. La comisaría de Texan de Palomeque pertenece al Municipio de Hunucmá, el cual se encuentra ubicado en la región del litoral oeste del estado de Yucatán, entre los meridianos 89° 48´ y 90° 12´ de longitud oeste y los paralelos 20° 55´ y 20° 14´ de latitud norte. Sus límites territoriales son: al norte con el Golfo de México; al sur con los municipios de Tetíz y Samahil, al este con Progreso, Ucú y Umán y al oeste con Celestún. La cabecera municipal se encuentra a 25 Km. de la Ciudad de Mérida, en dirección oeste (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

4. El municipio de Tetíz se encuentra ubicado en la región litoral oeste de la entidad, entre los 20º 56´ y 21º 00´ de latitud Norte y entre los 89º 54´ y 90º 11´ de longitud oeste. Sus límites territoriales son: al norte y este con el municipio de Hunucmá; al sur con el municipio de Kinchil; y al oeste con el municipio de Celestún. La cabecera municipal se encuentra a 38 km de Mérida (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

5. El municipio de Kinchil se encuentra ubicado en la región del litoral oeste del estado de Yucatán, entre los meridianos 89° 54´ y 90° 12´ de longitud oeste y los paralelos 20° 45´ y 20° 55´ de latitud norte. Sus límites territoriales son: al norte con el municipio de Tetíz; al sur con Kopomá, al este con Samanhil y Umán y al oeste con Celestún (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

6. El municipio de Celestún se encuentra ubicado en la región litoral oeste de la entidad, entre los 20º 46´ y 21º 06´ de latitud Norte y entre los 90º 11´ y 90º 25´ de longitud oeste, tiene una altura promedio de 3 metros sobre el nivel del mar. Sus límites territoriales son: al norte con el Golfo de México; al sur con el municipio de Maxcanú; al este los municipios de Kinchil, Tetíz y Hunucmá y al oeste con el Golfo de México y el estado de Campeche. Se encuentra a 78 km de Mérida (Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán, 1988).

De acuerdo con INEGI (2000) las localidades de estudio Caucel, Ucú, Texán de Palomeque, Tetíz, Kinchil y Celestún, reunían en el año 2000 un total 5580 viviendas con una población de 27 484 habitantes; En el 59,2 % de las viviendas se reportaba uso de leña como combustible fundamental habiendo sido estimado 4,8, el promedio de habitantes por vivienda. Esto significa que, en ese año, en las seis localidades 16 686 habitantes usaban como energético cotidiano de su vivienda la leña u otros combustibles no derivadas de hidrocarburos.

Características ambientales de la zona de estudio

La superficie ocupada por los municipios de estudio, están localizados en una zona llana, con una altitud promedio sobre el nivel del mar de 2 a 8 metros. Debido a que toda la zona es cárstica, no hay cuerpos de agua superficiales, como producto de la excesiva permeabilidad de los terrenos. Sin embargo existe un complejo sistema hidrológico subterráneo y es común la presencia de cenotes, aguadas y hondonadas. Los suelos son someros y pedregosos, con abundantes afloramientos rocosos representados por la asociación de litosoles y rendzinas, conocidos en maya como Tsekel y K'an kab. La temperatura media anual es mayor de 26 °C y la precipitación pluvial va de los 500 mm en el extremo noroeste a los 1000 mm en la porción sureste. Por lo general la época de lluvias se inicia en mayo y termina en octubre. En los municipios de estudio y parte de los municipios aledaños se ubican en los subtipos climáticos, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificado por García (2004) en la transición del $Aw_0(i')$ cálido, el mas seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias en verano, y hacia el este con alto porcentaje de lluvia invernal y el BS_1 *(h') w"(i)* o semiárido y cálido con régimen de lluvias en verano que presenta un porcentaje muy bajo de lluvias de invierno, con poca oscilación térmica, y con un periodo de sequía pluviométrica de entre 7 y 9 meses. (Duch, 1991; Orellana *et al*, 2003).

Los tipos de vegetación en Celestún y Hunucmá son de matorral de dunas costeras, manglar y petenes (islas de vegetación de selva mediana inmersa en el manglar), selva baja decidua con cactáceas candelabriformes y selva baja caducifolia. En Kinchil, Tetíz, Ucú y Caucel se presenta la selva baja con cactáceas candelabriformes y selva baja caducifolia (Flores y Espejel, 1994; Olmsted *et al*, 1999). Las comunidades vegetales que componen esta vegetación, prestan servicios ambientales diversos y son sitios de reproducción de múltiples especies de la fauna silvestre (Howell & Webb, 1995; Campbell, 1998; Lee, 2000).

RESULTADOS

El número de viviendas a cuyos habitantes se aplicó el cuestionario estructurado fue de 1153, que según el Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2000) representa el 37,9% de los hogares de la zona donde se consume leña de forma cotidiana. En las viviendas visitadas, habitan 5443 personas en un promedio por vivienda de 4,7. El 50,8% de los habitantes son mujeres y el 49,2 % hombres (tabla 1).

Las actividades principales de los habitantes de las viviendas, manifestadas por los informantes clave fueron la siguientes: estudiante (31%), actividades del hogar (20%), empleado (11,9%), pescador (8,2%), obrero (7,0%), campesino (5,7%), oficios diversos como plomero y electricista (4,6%), albañil (4,1%), comerciante (2,6%), jubilado (1,3%), trabajo doméstico asalariado (1,3%), leñador (0,9%), profesionista (0,5%) y apicultor (0,2%) (Tabla 2).

La leña se adquiere en el 39,3% de los casos con los leñadores, 53,3% directamente en la vegetación aledaña, 4,2% se extrae de la milpa y 3,0% del solar. La distancia promedio de la vivienda al área de colecta es de 3,8 km; el transporte utilizado para el traslado de la leña en el 70,5% de los casos es el triciclo de carga, 12% la carga directa es directa sobre la espalda, 9,8% por medio de camioneta de carga, 5% en bicicleta y 2,6% por medio de carreta tirada por mulas.

Tabla 1. Características de la población usuaria y frecuencia de colecta y consumo de leña combustible por localidad.

Localidad										Frecuencia de colecta				Tipo de leña colectado		
	Total de habitantes	Total de viviendas que usan leña	Total de cuestionarios aplicados	Porcentaje de viviendas estudiadas	Total de habitantes en viviendas estudiadas	Promedio de habitantes por vivienda	Leños usados semanalmente	Kilogramos de leña usados semanalmente	Consumo de leña per capita (Kg/día)	Diario	Cada tercer día	Semanal	Mayor a semana	Ramas - troncos secos desprendidos y en pie	Ramas - troncos verdes en pie	Otro
Caucel	6020	370	181	48,919	955	5,3	8	12	68	51	3499	8397,6	1,26	107	5	4
Ucú	2909	305	111	36,393	519	4,7	5	9	50	32	3684	8841,6	2,43	80	5	8
Texan de Palomeque	2755	444	183	41,216	956	5,2	19	20	90	18	4136	9926,4	1,48	137	8	0
Tetíz	4201	612	108	17,647	533	4,9	8	15	52	33	3883	9319,2	2,57	103	9	3
Kinchil	5534	910	342	48,919	1413	4,1	13	32	146	110	7156	17174,4	1,74	209	97	7
Celestún	6065	663	228	34,389	1065	4,7	20	16	73	27	8986	21566,4	2,89	114	0	0
TOTAL/PROMEDIO	27484	3304	1153	37,914	5441	4,7	73	104	479	271	5224	12537,6	2,06	750	124	22

Tabla 2. Actividades principales de los habitantes de la zona de estudio.

Localidad	Estudiante	Hogar	Empleado	Pescador	Obrero	Campesino	Oficios varios	Albañil	Comercio	Jubilado	Trabajo domestico	Leñador	Profesionista	Apicultor	Total
Caucel	140	0	75	0	36	9	40	19	14	30	0	0	0	0	363
Ucú	168	106	38	1	49	28	20	14	15	3	10	10	9	0	471
Texan de Palomeque	120	0	16	0	39	27	13	47	6	8	2	4	0	0	282
Tetíz	133	171	49	3	18	44	16	15	15	3	14	0	1	4	486
Kinchil	349	353	162	23	81	71	44	30	27	29	16	16	5	1	1207
Celestún	82	10	42	235	0	3	13	5	5	0	0	0	0	0	395
Total/promedio	992	640	382	262	223	182	146	130	82	73	42	30	15	5	3204
Porcentaje	31,0	20,0	11,9	8,2	7,0	5,7	4,6	4,1	2,6	2,3	1,3	0,9	0,5	0,2	100

Las unidades de medida fueron 46,9% el rollo o tercio que aglutina de 12 a 15 leños, 48,8% el triciclo o carga con 60-80 leños y 4,1% la tarea o camioneta con 250-300 leños. Como se mencionó, en el 39,3% de los casos la leña se le compra a algún leñador y en el ámbito familiar, la colecta la realizan en el 81% de los casos el padre y la madre, 12,1% los hijos y 6,5% participan toda la familia. La colecta de leña, por lo general se realiza en el 51,6% de forma semanal, 29,2% quincenal y/o mensual, 11,2% cada tercer día y 7,9% diariamente. El consumo de leña promedio de las seis localidades de estudios fue de 2,06 kg/día/habitante, con una promedio local de 1,26 en Caucel, 2,43 en Ucú, 1,48 en Texán de Palomeque, 2,57 en Tetíz, 1,74 en Kinchil y 2,89 en Celestún, variaciones que pueden estar asociadas a disponibilidad de sitios de extracción, cercanía de una ciudad, entre otros factores.

En 42,4% de las viviendas usan leña como combustible alterno al gas, en el 3,9% se usa carbón y en el 2,6% algún otro combustible como petróleo, cartón, aserrín, etc.). En el 65% de los casos el tipo de material colectado son ramas y troncos secos desprendidos y en pie, 14,2% ramas y troncos verdes en pie y 1,9% son de casos de derribos de todo el árbol. La percepción que manifestaron los informantes clave sobre la abundancia del recurso fue, en el 65% de los casos, que la leña ya no se consigue igual que antes y el 71% indicó que consideran importante hacer plantaciones como fuente para leña.

Del total de informantes, 936 mencionaron 41 especies vegetales utilizadas como leña en las seis localidades, mismas que se agrupan en 19 familias botánicas, tal y como se indica en la tabla 3: Fabaceae con 15 especies, Anacardiaceae con tres especies, Anonaceae, Combretaceae, Malvaceae, Polygonaceae, Rutaceae y Sapindaceae cada una con dos especies. Las once familias restantes, con una sola especie.

Tabla 3. Frecuencia de uso y frecuencia relativa de especies usadas como leña en los hogares de la zona de estudio.

Número	Frecuencia de uso	Frecuencia relativa de uso	Nombre común	Nombre científico	Familia
1	251	26,82	Box katsim	*Acacia gaumeri* S,F, Blake	Fabaceae
2	171	18,27	Chukum	*Havardia albicans* (Kunth) Britton & Rose	Fabaceae
3	158	16,88	tsalam	*Lysiloma latisiliquum* (L,) Benth,	Fabaceae
4	88	9,40	ts'i' ts'ilché	*Gymnopodium floribundum* Rolfe	Polygonaceae
5	51	5,45	chacáh	*Bursera simaruba* L,(Sarg,)	Burseraceae
6	38	4,06	kitinché	*Caesalpinia gaumeri* Greenm,	Fabaceae
7	30	3,21	botoncillo	*Conocarpus erectus* L,	Combretaceae
8	27	2,88	habín	*Piscidia piscipula* (L,) Sarg,	Fabaceae
9	15	1,60	sak Katsim	*Mimosa bahamensis* Benth,	Fabaceae
10	15	1,60	mangle	*Rhizophora mangle* L,	Rhizophoraceae
11	12	1,28	huaxim	*Leucaena leucocephala* (Lam,) de Wit,	Fabaceae
12	9	0,96	ramón	*Brosimum alicastrum* Sw,	Moraceae
13	8	0,85	naranja	*Citrus sinensis* (L,) Osbeck	Rutaceae
14	7	0,75	tuché	*Caesalpinia yucatanensis* Greenm,	Fabaceae
15	7	0,75	huaya local	*Talisia olivaeformis* (Kunth) Radlk,	Sapindaceae
16	5	0,53	limón	*Citrus aurantifolia* (Christh,) Swingle	Rutaceae
17	5	0,53	sakokom	*Laguncularia racemosa* (L,)C,F,Gaertn,	Combretaceae
18	3	0,32	bokanche	*Capparis incana* Kunth	Capparidaceae
19	3	0,32	Tinto	*Haematoxylon campechianum* L,	Fabaceae
20	3	0,32	kuchel	*Machaonia lindeliana* Baillon	Rubiaceae
21	3	0,32	ciruela	*Spondias purpurea* L,	Anacardiaceae
22	3	0,32	tamarindo	*Tamarindus indica* L,	Fabaceae
23	2	0,21	chimay	*Acacia pennatula* (Cham & Schltdl,) Benth,	Fabaceae
24	2	0,21	cedro rojo	*Cedrela odorata* L,	Meliaceae
25	2	0,21	yax ek	*Chloroleucon mangense* (Jacq.) Britt& Rose	Fabaceae
26	2	0,21	chechem	*Metopium brownei* (Jacq,) Urb,	Anacardiaceae
27	2	0,21	k'anchunuup	*Thouinia paucidentata* Radlk,	Sapindaceae
28	1	0,11	guanábana	*Annona muricata* L,	Annonaceae
29	1	0,11	saramuyo	*Annona squamosa* L,	Annonaceae
30	1	0,11	chulul	*Apoplanesia paniculada* C, Presl,	Fabaceae
31	1	0,11	achiote	*Bixa Orellana* (Kuntze)Standl & L,O,Wills,	Bixaceae
32	1	0,11	mandarina	*Citrus reticulata* Blanco	Rutaceae
33	1	0,11	siricote	*Cordia dodecandra* A,D,C,	Boraginaceae
34	1	0,11	sinanché	*Diphysa carthagenensis* Jacq,	Fabaceae
35	1	0,11	pixoy	*Guazuma ulmifolia* Lam,	Malvaceae
36	1	0,11	mango	*Mangifera indica* L,	Anacardiaceae
37	1	0,11	sapote,ya''	*Manilkara zapota* (L,) P,Royen	Sapotaceae
38	1	0,11	sak its'a	*Neomillspaugia emarginata* (Gross) Blake	Polygonaceae
39	1	0,11	katkut	*Parmentiera millspaughiana* L,O,Williams	Bignoniaceae
40	1	0,11	ts' iuché	*Pithecellobium dulce* (Roxb,) Benth,	Fabaceae
41	1	0,11	algodoncillo	*Thespesia populnea* (L,) Sol, Ex Correa	Malvaceae

Tabla 4.1 Abundancia relativa de especies arbóreas y arbustivas por localidad.

Localidad/especie	*Caesalpinia gaumeri*	*Lysiloma latisiliquum*	*Gymnopodium floribundum*	*Havardia albicans*	*Rhizophora mangle*	*Piscidia piscipula*	*Bursera simaruba*	*Mimosa bahamensis*	*Acacia gaumeri*	*Acacia penatula*	*Avicennia germinans*	*Conocarpus erecta*	*Swietenia macrophylla*	*Senna otomaria*	*Jatropha gaumeri*
Caucel	0,40	0,02	0,05	0,05	0,00	0,03	0,06	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08
Ucú	0,32	0,02	0,00	0,07	0,00	0,05	0,02	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
Texan de Palomeque	0,04	0,21	0,12	0,21	0,00	0,10	0,04	0,06	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Tetíz	0,02	0,11	0,23	0,06	0,00	0,07	0,10	0,18	0,03	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kinchil	0,03	0,12	0,02	0,02	0,00	0,09	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Celestún	0,00	0,03	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,16	0,13	0,00	0,00
Total	**0,81**	**0,51**	**0,42**	**0,41**	**0,35**	**0,34**	**0,31**	**0,25**	**0,24**	**0,19**	**0,19**	**0,16**	**0,13**	**0,11**	**0,11**

Tabla 4.2 Abundancia relativa de especies arbóreas y arbustivas por localidad.

Localidad/especie	*Capparis incana*	*Chloroleucon mangense*	*Metopium brownei*	*Harpalyce arborecens*	*Parmentiera milspaugiana*	*Exostema mexicanum*	*Haematoxylon campechiana*	*Manilkara sapota*	*Trichilia glabra*	*Pouteria campechiana*	*Spondias purpurea*	*Alvaradoa amorphoides*	*Gymnanthes lucida*	*Diospyros cuneata*	*Vitex gaumeri*	*Leucaena leucocephala*
Caucel	0,08	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Ucú	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02
Texan de Palomeque	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tetíz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
Kinchil	0,01	0,02	0,04	0,07	0,01	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,04	0,01
Celestún	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03

Tabla 4.3 Abundancia relativa de especies arbóreas y arbustivas por localidad.

Localidad/especie	*Laguncularia racemosa*	*Machaonia lindeliana*	*Neomillspaugia emarginata*	*Phyllostylon brasiliense*	*Acacia cornígera*	*Plumeria rubra*	*Tournefortia glabra*	*Thouinia pausidentata*	*Cedrela odorata*	*Chlorophora tinctoria*	*Luhea speciosa*	*Randia truncata*	*Ceiba* sp.	*Chrysophyllum mexicanum*	*Helicteres baruensis*	*Lonchocarpus* sp.
Caucel	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ucú	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Texan de Palomeque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tetíz	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kinchil	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
Celestún	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,03**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**

Tabla 4.4 Abundancia relativa de especies arbóreas y arbustivas por localidad.

Localidad/especie	*Neea fagifolia*	*Platymiscium yucatanum*	*Zuelania guidonia*	*Ficus cotinifolia*	*Caesalpinia yucatanensis*	*Talisia olivaeformis*	*Pithecellobium dulce*	*Columbrina guatemaltensis*	*Cnidosculus souze*	*Neea fagifolia*	*Cochlospermum vitifolium*	*Hampea trilobata*	*Karwinskia sp*	*Malpighia punicifolia*	*Tabebuia rosea*	*Tabernamontana amygdaleifolia*
Caucel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ucú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Texan de Palomeque	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tetíz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kinchil	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Celestún	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,02**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**	**0,01**

Tabla 5. Número de usuarios y principales especies preferidas como leña combustible por localidad.

Localidad/especie	*Acacia gaumeri*		*Havardia albicans*		*Lysiloma latisiliquum*		*Gymnopodium floribundum*		*Bursera simaruba*		*Cesalpinia gaumeri*		*Conocarpus erecta*		*Piscidia piscipula*		*Rhizophora mangle*		*Mimosa bahamensis*		*Leucaena leucocephala*		*Brosinum alicastrum*		*Citrus sinensis*		*Caesalpinia yucatanensis*		
	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Núm.	%	Total
CAUCEL	71	28,3	39	22,8	14	8,9	12	13,6	2	3,9	12	31,6	0	0	4	14,8	0	0	4	26,7	1	8,3	7	77,8	3	37,5	0	0	169
UCU	53	21,1	23	13,5	6	3,8	6	6,8	0	0,0	7	18,4	0	0	3	11,1	0	0	1	6,7	7	58,3	1	11,1	0	0,0	0	0	107
TEXAN DE PALOMEQUE	65	25,9	59	34,5	76	48,1	37	42,0	31	60,8	2	5,3	0	0	4	14,8	0	0	1	6,7	2	16,7	0	0,0	1	12,5	0	0	278
TETIZ	10	4,0	17	9,9	20	12,7	13	14,8	6	11,8	3	7,9	0	0	11	40,7	0	0	5	33,3	0	0,0	1	11,1	2	25,0	0	0	88
KINCHIL	39	15,5	32	18,7	41	25,9	19	21,6	12	23,5	14	36,8	0	0	4	14,8	0	0	4	26,7	2	16,7	0	0,0	2	25,0	0	0	169
CELESTÚN	13	5,2	1	0,6	1	0,6	1	1,1	0	0,0	0	0,0	30	100	1	3,7	15	100	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	7	100	69
TOTAL	251	100	171	100	158	100	88	100	51	100	38	100	30	100	27	100	15	100	15	100	12	100	9	100	8	100	7	100	880

Por otra parte 217 informantes, desconocían los nombres locales de las especies utilizadas por ellos como leña o no fueron capaces de identificar los leños con los nombres comunes.

Las 13 especies principales, preferidas como leña y la frecuencia relativa en los hábitos de preferencia de los pobladores son: *box katsim* (*Acacia gaumeri*) 26,8%, *chukum* (*Havardia albicans*) 18,3%, *tsalam* (*Lysiloma latisiliquum*) 16,9%, *ts'i' ts'ilché* (*Gymnopodium floribundum*) 9,4%, *chacáh* (*Bursera simaruba*) 5,5%, *kitinché* (*Caesalpinia gaumeri*) 4,0%, botoncillo (*Conocarpus erectus*) 3,2%, *habín* (*Piscidia piscipula*) 2,9%, mangle (*Rhizophora mangle*) 1,6%, *sak katsim* (*Mimosa bahamensis*) 1,6%, *huaxim* (*Leucaena leucocephala*) 1,3%, ramón (*Brosinum alicastrum*) 0,96% y naranja (*Citrus sinensis*) 0,85% (Tabla 3).

Las especies con mayor frecuencia de uso relativa, coinciden también con las de mayor abundancia relativa encontrada en los muestreos de la vegetación (tablas 4.1 a 4.4 y 5) en los casos de *Caesalpinia gaumeri, Lysiloma latisiliquum, Gymnopodium floribundum, Havardia albicans, Piscidia piscipula, Bursera simaruba y Mimosa bahamensis*. Lo anterior se debe a diversos factores entre los que destacan que la mayoría de éstas especies son leguminosas, excepto *Gymnopodium floribundum* y *Bursera simaruba*. Esta familia es un recurso disponible en cualquier tipo de vegetación y son especies con gran incidencia en las actividades humanas locales (Flores, 2001).

La información vertida por los informantes clave, sobre especies preferidas como leña coinciden, en su mayoría, con la abundancia relativa de las especies en los sitios de extracción, como se muestra en la tabla 4.1 a 4.4. Las especies más abundantes *kitinché (Caesalpinia gaumeri), tsalam (Lysiloma latisiliquum), ts' i' ts' ilché (Gymnopodium floribundum), chukum (Havardia albicans),* mangle (*Rhizophora mangle*), *habín (Piscidia piscipula), chacah (Bursera simaruba), sak katsim (Mimosa bahamensis), box katsim* (*Acacia gaumeri*) y botoncillo (*Conocarpus erectus*).

DISCUSIÓN

El uso de la leña para combustible, sobre todo para cocinar y calentar agua para el baño, es una costumbre ancestral que, desde la perspectiva de análisis en los países industrializados se ha tomado como un indicador de los niveles de crecimiento económico de una región o país. Desde esa perspectiva se desconocen o no se valoran como es debido, las preferencias culinarias y la influencia de la leña en la diversidad de olores y sabores locales.

El consumo de leña es más elevado a escala mundial en los países del tercer mundo. En México su uso se da con mayor intensidad en el ámbito rural y urbano marginado. Esta situación es el resultado de diversas circunstancias desde las microeconómicas hasta las macroeconómicas como pueden ser a) la abundancia y/o disponibilidad del recurso, b) las preferencias y tradiciones, c) los procesos de acumulación capitalista que generaron países industrializados altamente consumidores de hidrocarburos y por otra parte países de economías deformadas con mayor consumo de combustibles derivados de biomasa.

En el escenario actual es importante someter a evaluación la práctica del consumo de leña para contestar las siguientes preguntas: ¿Cuál es el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la combustión de leña, a escala micro-local, regional y global?, ¿Qué efectos socioeconómicos

se presentarían si se restringiera o promoviera el uso de la leña a escala regional? Considerando los impactos sinérgicos de las múltiples actividades antropogénicas actuales, ¿puede considerarse a la leña un recurso renovable y potencialmente inagotable?.

En el universo de muestreo del presente trabajo ha resultado que el promedio del consumo de leña en la región fue de 2,06 kg/día/habitante, similar a lo reportado para la localidad de X-uilub, Yucatán, por Sánchez (1993) de 2,04 kg/día/habitante. Pero con una variación entre la localidad de mayor y menor consumo de 1,63 kg/día/habitante; siendo la localidad de mayor consumo celestún y la de menor consumo Caucel. Esto representa que en los sitios de estudio, con una población usuaria de leña de 16 686 habitantes, se consume aproximadamente 34,3 toneladas de leña al día, esto es 12 519 toneladas por año. Esta cantidad de leña se consume en su totalidad en fogones abiertos o de tres piedras, lo que implica una gran cantidad de calor perdido por disipación, siendo un sistema poco eficiente. Los usuarios de leña se caracterizan por ser familias de bajos ingresos y la leña representa un energético disponible localmente. En la actualidad ha sido de una gran preocupación el tratar de optimizar el uso de la leña. Para conseguir esto se han rediseñado estufas tomadas a partir de algunas tradicionales, como es el caso de la *patsari,* que se ha extendido en el país. En Yucatán se han instalado prototipos y se trabaja con nuevos modelos (Quiroz *et al,* 2009).

Es importante destacar el conocimiento empírico que tienen los usuarios sobre las características físicas y químicas de la madera, que aún sin describir dichas características en el presente trabajo, hemos recogido testimonios de cómo las reconocen y las nombran. Por ejemplo para su uso en el fogón prefieren leña de especies que al arder no generan gran cantidad de humo, su combustión sea lenta y produzcan brasas o tizones. Estas propiedades les permiten clasificarlas localmente en especies de buena leña como el *tsalam (Lysiloma latisiliquum)*, el *habín (Piscidia piscipula)*, o el *box katsim* (*Acacia gaumeri*), de madera dura como el *chukum (Havardia albicans)* y en el otro extremo, las especies poco apreciadas o de madera suave como el *chacáh (Bursera simaruba)* o las ceibas.

Por otra parte también influye en el uso de las especies señaladas, las preferencias gastronómicas cotidianas y de las festividades locales, donde se utilizan aquellas especies que aportan olores y sabores agradables a los alimentos como es el caso del *habín* (*Piscidia piscipula*) y el *kitimché* (*Caesalpinia gaumeri*) para hornear enterrado el *pib,* que es el tamal de la festividad de muertos o *mukbilpollo* y el *chukum (Havardia albicans)* para la cocción del elote tierno o *pibil naal*.

Adicionalmente se puede señalar que las características biológicas de estas especies, como son el crecimiento rápido del *pixoy (Guazuma ulmifolia*), gran producción de semilla y capacidad de establecimiento de las plántulas en el *tsalam (Lysiloma latisiliquum)*, el *habín (Piscidia piscipula)*, el *box kaatsim* (*Caesalpinia gaumeri*), y el *chukum (Havardia albicans)* facilitan su abundancia y disponibilidad.

Cinco de las catorce especies mencionadas en la tabla 5 coinciden con lo reportado por Flores (2001), como especies preferidas para su aplicación como leña en las localidades de Sotuta, Chacmay, Dzan, Tizimín y Vallarta, estas son: *box katsim* (*Acacia gaumeri*), *chukum* (*Havardia albicans*), *tsalam* (*Lysiloma latisiliquum*), *habín* (*Piscidia pisci-*

pula) y *sac katsim* (*Mimosa bahamensis*). El hecho que las especies que fueron reportadas en nuestro trabajo, no coincidan en su totalidad con las de Flores (2001), indican que sería necesario realizar inventario de uso de leña por región y poder valorar así el estado actual de las especies leñosas como recurso natural.

CONCLUSIONES

El consumo de leña para uso doméstico, bajo el esquema de aprovechamiento de ramas caídas y secas de los árboles, no altera la estructura y función esenciales del monte. De forma contraria, las comunidades vegetales resultan beneficiadas ya que al extraer la madera muerta se reduce el peligro de incendio, la presencia de plagas forestales y el aclareo favorece la renovación natural tal y como afirman Masera y Fuentes (2006), los procesos de perturbación de las comunidades vegetales en Yucatán son generados por otras actividades humanas.

Las especies más utilizadas representan las más apreciadas por lo habitantes a nivel microrregional, debido a que conocen sus características como son: la capacidad de generar calor, menor emisión de humo, los aportes al sabor y olor de los alimentos preparados, saben manejarlas, de acuerdo con Flores (2001) y con nuestros resultados y son abundantes en las áreas de colecta.

Bajo el esquema de manejo actual podemos esperar que la extracción de leña combustible se incremente entre 7 y 10% anual, como una respuesta al crecimiento poblacional. Sin embargo, su disponibilidad podría reducirse a causa de otras presiones antropogénicas como son construcción de unidades habitacionales para trabajadores de Pemex, complejos industriales, turísticos, carreteras, unidades agropecuarias, entre otras. Es importante hacer estudios para conocer la capacidad de extracción de leña por unidad de superficie y así determinar la tolerancia de las comunidades vegetales a un ritmo de extracción creciente, así como la escasez potencial de leña a mediano y largo plazo. Ya que la percepción de los usuarios es que actualmente es más difícil obtener leña, respecto a años pasados.

De la misma forma es necesario identificar mecanismos para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas de uso público o comunitario, de tal forma que una medida de recuperación de la masa arbórea no se transforme en un proceso de control económico, político o burocrático, lo que finalmente encarecería el recurso al usuario final, que en esencia son de bajos ingresos. Las especies con las cuales iniciar procesos dendroenergéticos pueden ser las de mayor preferencia como son: box *katsim (Acacia gaumeri), chukum (Havardia albicans), tsalam (Lysiloma latisiliquum), habín (Piscidia piscipula) y sac katsim (Mimosa bahamensis).*

Si bien es cierto que la exposición al humo en el interior de los domicilios representa un factor ambiental de afecciones respiratorias agudas, es necesario evaluar el impacto de las emisiones sobre la salud humana de acuerdo al tipo de cocinas, debido a que en Yucatán éstas poseen grados de ventilación diferentes, por lo que las mujeres reciben emisiones de humo en cantidades diversas.

Además es necesario considerar en las agendas de desarrollo local y regional la aplicación de tecnologías no convencionales como son: la construcción y autoconstrucción de estufas de leña eficientes o de bajo consumo (Best *et al.*, 2006; Quiroz *et al.*, 2009), u otras tecno-

logías no convencionales como la olla solar, calentador solar de agua, entre otras que permitan sostener o reducir el uso de la leña combustible, sin afectar los procesos tradicionales, minimizar el gasto económico en este tipo de energía y las emisiones a la atmósfera micro-local para reducir su efecto sobre la salud de las mujeres, niños y adultos mayores, que son la población, generalmente más expuesta a las emisiones derivadas de la combustión de biomasa.

RECONOCIMIENTOS

Se reconoce el apoyo otorgado por los Fondos Mixtos del Conacyt- Gobierno del estado de Yucatán al proyecto "Estudio sobre el uso y manejo de leña en los hogares de la región litoral oeste y metropolitana del estado de Yucatán, casos de estudio: Caucel, Ucú, Hunucmá, Tetiz, Kinchil y Celestún (número FOMIX-YUC_SA-072/06)" del cual este artículo es uno de sus resultados. Así mismo se agradece a Paulino Simá Polanco su apoyo para la determinación botánica de los ejemplares de estudio y a Celene Espadas Manrique por la elaboración del mapa de los sitios de estudio.

REFERENCIAS

Arias Ch., T. 2002. Disponibilidad y uso de leña en tres micro-regiones del trópico mexicano. *In*: Silvia del Amo Rodríguez (Coord.) La leña: el energético rural en tres micro-regiones del sureste de México, una experiencia interactiva con la población local. Plaza y Valdez, S.A. de C.V., México D.F. p. 79-99.

Best B., G., I. E. Gómez M., J.E. Aguillón M., J. L. Arvizu F., R. Díaz J., R. B. Gamiño C y V. M. Berrueta S. 2006. Aplicaciones de las tecnologías bioenergéticas. *In:* La Bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable. Omar Masera Cerutti (Coordinador). Comisión Nacional Forestal. Mundi-Prensa, México, D.F. p. 33-65.

Campbell, J.A. 1998. Amphibians and reptiles of Northern Guatemala, the Yucatán and Belize. University of Oklahoma Press Norman, Oklahoma, USA. 380 p.

De Montalembert, M.R. y J. Clément , 1983, Disponibilidad de leña en los países en desarrollo. Estudio FAO: Montes 42. http://www.fao.org/docrep/X5329s/x5329s00.htm#Contents

Del Amo R., S. y P.L Yllescas H. 2002. Diagnóstico inicial del consumo de leña. Evaluación de las Alianzas Tripartitas. *In:* Silvia del Amo Rodríguez (Coord.) La leña: el energético rural en tres micro-regiones del sureste de México, una experiencia interactiva con la población local. Plaza y Valdez, S.A. de C.V., México D.F. p. 33-41.

Del Amo, R., S. 2002. Perfil y metodología del PROAFT, A.C. como organización no gubernamental. *In:* Silvia del Amo Rodríguez (Coord.) La leña: el energético rural en tres micro-regiones del sureste de México, una experiencia interactiva con la población local. Plaza y Valdez, S.A. de C.V., México D.F. p. 21-31.

Díaz J., R. 2000. Consumo de leña en el sector residencial de México, evolución histórica y emisiones de CO_2. Tesis de maestro en ingeniería (energética). UNAM, División de estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería. México D.F. 113 p.

Duch G., J. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán, su relación con la agricultura.

Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, México. 229 p.

Flores, J. S. 2001. Fabaceae. florística etnobotánica y ecología. UADY-FMVZ. Mérida, Yucatán, México. 320 p.

Flores, S. e I. Espejel. 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense, fascículo 3. UADY-Sostenibilidad Maya. Mérida, Yucatán, México. 135 p.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No 6. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90 p.

Ghilardi, A., G. Guerrero y O. Masera. 2007. Spatial analysis of residential fuelwood supply and demand patterns in Mexico using the WISDOM approach. Biomass and Bioenergy (31) 475–491.

Howell, S.N.G. y S. Webb. 1995. A guide to the birds of Mexico and Northern central America. Oxford University Press, Oxford. 850 p.

INEGI, 1990. Yucatán, Resultados definitivos. Tomo IV. Tabulados básicos. XI Censo general de población y vivienda. México. p. 1981-2072; 2073-2162.

INEGI, 2000. Anuario estadístico del Estado Yucatán. México. Disco compacto.

INEGI, 2000a. Sistema para la consulta de la Información Censal (SINCE). México. Disco compacto.

Lee, J. C. 2000. A field guide to the amphibians and reptiles of the maya world. Cornell University Press, New York. Estados Unidos. 395 p.

Ley Orgánica de los Municipios del Estado de Yucatán 1988. Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán, 25 de octubre de 1988. Núm. 26, 210. Año LXXXVIII. Suplemento. 40 p.

Masera, O. y A. F. Fuentes G. 2006. Introducción. *In:* La Bioenergía en México, un catalizador del desarrollo sustentable. Omar Masera Cerutti (Coordinador). Comisión Nacional Forestal. Mundi-Prensa, México. p. 1-6.

Martínez, H. A. 1985. Producción de leña en la zona seca de Guatemala. *In:* Rodolfo Salazar (ed.) Actas de los simposios sobre técnicas de la producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. p. 77-88.

Olmsted, I. C., R. Durán, J. A. González-Iturbe, J. Granados y F. Tun. 1999. Vegetación. *In:* García de Fuentes, A., J. Córdoba, P. Chico, eds. Atlas de Procesos Territoriales de Yucatán. Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán-CONACYT. p. 183-194.

Orellana, R. 1992. Síndromes morfológicos y funcionales de las palmas de la Península de Yucatán. *In:* Bull. Inst. fr. Études andines. (21- 2): 651-667.

Orellana, R. y R. Durán. 1992. Las Palmas de la Península de Yucatán: un patrimonio que debemos conservar. Gaceta Universitaria (APAUADY) (14) 22-28.

Orellana, R., G. Islebe y C. Espadas. 2003. Presente, pasado y futuro de los climas de la Península de Yucatán. *In:* P. Colunga García Marín, A. Larqué Saavedra (eds). Naturaleza y Sociedad del Área maya. Pasado Presente y Futuro. Academia Mexi-

cana de Ciencias y Centro de Investigación Científica de Yucatán. México. p. 37-52.

Parra V., M.R. 1989. El subdesarrollo agrícola en los altos de Chiapas. Universidad Autónoma de Chapingo, México. p.106-119.

Pelto P.J. y G.H. Pelto. 1978. Anthropological research. the structure of inquiry. Cambridge University Press, Nueva York. USA. 325 p.

Quiroz, J., C. Cantú G., R. Díaz J. y R. Orellana. 2009. Uso de la leña en Yucatán y tecnología para su aprovechamiento sustentable. Asociación Red Verde A. C. y Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Mérida. 74 p.

Reiche, C.E. 1985. La leña en el contexto socioeconómico de América Latina. *In:* Rodolfo Salazar (ed.) Actas de los simposios sobre técnicas de la producción de leña en fincas pequeñas y recuperación de sitios degradados por medio de la silvicultura intensiva, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. p. 355-369.

Sánchez G., M. C. 1993. Uso y manejo de la leña en X-uilub, Yucatán. Etnoflora Yucatanense, UADY-Sostenibilidad Maya, Mérida. 117 p.

Sánchez A., R. L. y S. Rebollar-Domínguez. 1999. Deforestación en la Península de Yucatán, los retos que enfrentar. Madera y Bosques 5(2): 3 -17.

Vergara T., C. 2002. Talleres de sensibilización y diagnóstico sobre el uso de la leña en comunidades rurales. *In:* Silvia del Amo Rodríguez (Coord.) La leña: el energético rural en tres micro-regiones del sureste de México, una experiencia interactiva con la población local. Plaza y Valdez S.A. de C.V., México D.F. p. 55-77.

Manuscrito recibido el 25 de febrero de 2009
Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Quiroz-Carranza, J. y R. Orellana. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques* 16(2):47-67.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae)

Dulce María Chávez-Romero[1], Silvia Aguilar-Rodríguez[1] y Teresa Terrazas[2]

Anatomical variation in *Quercus obtusata* (Fagaceae) wood

RESUMEN

Se describen las características anatómicas de la madera de *Quercus obtusata* y se evalúa estadísticamente la variación anatómica de nueve caracteres cuantitativos de su madera en función de la altura y diámetro del tallo, de la altitud y de 11 parámetros climáticos en cuatro localidades. La correlación de Pearson mostró que sólo la longitud del elemento de vaso angosto se asocia significativamente con la altura del árbol (r_p= 0,70, p< 0,02). El análisis de componentes principales reveló que en tres componentes se explica 76,46% de la variación total y diez variables son las más importantes. Este análisis segregó las poblaciones debido a la altitud y algunas variables climáticas, siendo la variación de la temperatura y la precipitación a lo largo del año, las que tuvieron un efecto sobre la longitud de los elementos de vaso, así como sobre la pared y longitud de la fibra. En la localidad más seca, Arcos del Sitio, y en la de mayor altitud, Santa Ana Jilotzingo, los elementos de vaso con mayor diámetro son más cortos (561 µm y 552 µm respectivamente) que los del ambiente más húmedo, Santa Catarina (621 µm). Las fibras no disminuyen su tamaño con la altitud ni lo aumentan con la talla de los individuos. Este análisis sugiere que se debe tomar en cuenta la procedencia microclimática de las poblaciones para hacer recomendaciones de uso de la madera de *Q. obtusata* o para planes de reforestación.

PALABRAS CLAVE:
Componentes principales, correlación anatómica, elementos de vaso, gradiente ambiental.

ABSTRACT

Wood of *Quercus obtusata* is described and the variation of nine quantitative wood characters is evaluated through tree height and diameter, elevation and 11 climatic parameters in four sites. Pearson correlation showed that only the narrow vessel element length is significantly correlated with tree height (r_p = 0,70, p <0,02). The principal component analysis revealed that three components explain 76,46% of the total variation and ten variables are those with the highest loadings. Moreover, this analysis segregated the localities due to altitude and some climatic variables as for temperature and rainfall throughout the year, which have an effect on vessel elements length, as well as on fibres length and wall thickness. The driest locality, Arcos del Sitio, and in that of higher elevation, Santa Ana Jilotzingo, have the shortest vessel elements with wider diameter (561 µm and 552 µm respectively) than the most humid environment, Santa Catarina (621 µm). The fibres neither diminish in size with the elevation nor increase with tree height. The analyses suggest that the microclimatic parameters of each location need to be accounted when recommendations for *Q. obtusata* wood used as raw material or in reforestation programs are given.

KEY WORDS:
Principal components, anatomical correlation, vessel elements, environmental gradient.

1 Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). FES Iztacala, Carrera de Biología, Unidad de Morfología y Función. Av. de los Barrios no. 1. Estado de México 54090. correo-e siagro@campus.iztacala.unam.mx
2 Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Biología. Apartado Postal 70-233, 04510 México, D.F. correo-e tterrazas@ibiologia.unam.mx.

INTRODUCCIÓN

Quercus obtusata Humboldt & Bonpland incluye árboles que miden entre 6 y 30 metros de alto, con diámetros a la altura del pecho hasta de 60 cm. Es una de las especies de encino con más amplia distribución en nuestro país (Valencia, 2004), registrándose de Nuevo León, Durango y Tamaulipas hasta Guerrero y Oaxaca. Prospera en bosques de *Pinus*, *Quercus*, *Pinus*-*Quercus* y bosque mesófilo de montaña, asociado con otras especies. También se le encuentra en el pastizal con matorral xerófilo de *Acacia* y *Opuntia,* así como en encinares perturbados; en altitudes que fluctúan entre los 1430 y 2850 m (De la Paz Pérez-Olvera *et al*., 2006; Romero *et al*., 2002; Rzedowski, 1978). Por su alta densidad básica es una especie con un alto potencial de aprovechamiento (Honorato y Fuentes, 2001). Su madera es excelente para ser usada como duela para pisos y es adecuada para tonelería; se emplea en la elaboración de leña, carbón, postes para cercas, implementos agrícolas, cabos para herramienta y como material de construcción (De la Paz Pérez-Olvera, 1982; De la Paz Pérez-Olvera *et al*., 2000; Ortega *et al*., 1988; Quintanar, 2002; Romero *et al*., 2002). A pesar de la gran importancia que la madera de *Q. obtusata* tiene como recurso forestal, no existen estudios sobre su variación anatómica en nuestro país. En regiones de Europa y América del Norte, toman en cuenta el origen geográfico de las especies con la finalidad de establecer un estricto criterio de selección sobre sus poblaciones, pues se ha registrado que existen diferencias significativas en la dimensión de los elementos celulares en la madera de algunos encinos asociadas con el clima en el que sus individuos crecen (Villa-Salvador *et al*., 1997). En México este tipo de trabajos son escasos (Aguilar-Rodríguez *et al*., 2006; Arias y Terrazas, 2001; Terrazas y Loza-Cornejo, 2003) y para los encinos no se reportan. La literatura hace referencia a estudios anatómicos de la madera realizados en varias especies de *Quercus* (Aguilar- Rodríguez *et al*., 2000; Aguilar- Rodríguez y Castro-Plata, 2006; De la Paz Pérez-Olvera, 1976, 1982; De la Paz Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008; De la Paz Pérez-Olvera y Quintanar, 1994; De la Paz Pérez-Olvera *et al*., 1998, 2006; Corral, 1981; Martínez *et al*., 2003; Valencia y Barajas-Morales, 1995) y algunos de éstos incluyen a *Q. obtusata* (Aguilar-Rodríguez *et al*., 2000; De la Paz Pérez-Olvera, 1982, 1985; De la Paz Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo, 2008; De la Paz Pérez-Olvera *et al*., 2006; Ortega *et al*., 1988), pero en ninguno se correlacionan los caracteres de la madera con factores climáticos, la altitud o con la altura y diámetro de los árboles.

Los estudios sobre variación anatómica de madera en especies de importancia económica proveen información que puede ser usada como registro de las condiciones ambientales donde los individuos se desarrollan y son fundamentales ya que proveen las bases para un manejo forestal adecuado que favorezca las plantaciones o la restauración regional.

OBJETIVOS

En este trabajo se describen las características anatómicas de la madera de *Quercus obtusata* y se evalúa a través de un análisis estadístico la variación de nueve caracteres cuantitativos en función de 11 parámetros climáticos y la altitud, así como con la altura y diámetro de los árboles que crecen bajo diferentes condiciones climáticas.

METODOLOGÍA

Colecta. Se recolectaron muestras de *Q. obtusata* provenientes de cuatro locali-

dades en diferentes ambientes (Tabla 1). En estos sitios el clima varía de templado a seco, con una temperatura que fluctúa entre los 12º y 20º C y precipitación promedio anual entre 711 mm y 1463 mm (García, 2004). La vegetación predominante de acuerdo a Rzedowski (1978) en las localidades de colecta, correspondió a bosque de encino-pino, encino, encino con elementos mesófilos y matorral xerófilo con diferentes grados de perturbación. Se recolectaron ejemplares de herbario para respaldo, éstos fueron depositados en el herbario IZTA. En el campo se obtuvieron datos generales como la altura y el diámetro de los árboles a la altura del pecho. Los sitios fueron georeferenciados con un GPS Magellan modelo Mapa 410. En cada localidad se muestrearon tres individuos maduros y sanos, excepto en Santa Ana Jilotzingo en donde fueron dos. A una altura de 1,30 m del tronco se obtuvo una troza (2-3 cm de alto x 7 cm de ancho x 5-7 cm de largo) empleando un serrote, cincel y martillo. Las trozas se fijaron en una solución de formol - ácido acético - alcohol al 70% (Johansen, 1940) por 48 h y posteriormente se ablandaron en una solución de glicerina-alcohol etílico-agua (1:2:3) por tres meses.

Trabajo de laboratorio. De cada una de las trozas se obtuvieron cubos de 1,5 cm de lado y con un micrótomo de deslizamiento se cortaron en los planos transversal, tangencial y radial, obteniendo secciones de 20 a 30 µm de grosor. Las secciones se tiñeron con safranina y posteriormente se montaron de acuerdo a la técnica propuesta por Johansen (1940). Con ayuda de un microscopio estereoscópico y usando una navaja desechable del micrótomo, se separó la madera temprana de la tardía de los primeros cuatro anillos de crecimiento cercanos a la corteza. Las astillas de la madera temprana se colocaron en la solución Jeffrey (Berlyn y Miksche, 1976) con la finalidad de obtener material disociado y medir la longitud de los elementos de vaso ancho y angosto y la de las fibras, así como identificar la presencia de traqueidas vasicéntricas.

Descripción y análisis estadístico. Se llevó a cabo la descripción anatómica de la madera según lo recomendado por la Asociación Internacional de los Anatomistas de la Madera (IAWA Committee, 1989). Se tomaron 50 mediciones para diámetro del lumen de vaso ancho (> 150 µm) y angosto (≤ 150 µm), longitud del elemento de vaso ancho (> 150 µm) y angosto (≤ 150 µm); longitud, diámetro del lumen, diámetro total y grosor de la pared de las fibras, diámetro de las punteaduras intervasculares y altura del radio uniseriado. Los radios multiseriados no se cuantificaron debido al tamaño pequeño de los trozas. Con ellos se obtuvo la estadística descriptiva (media, desviación estándar y valores mínimo y máximo) (Tabla 2). Con los valores promedio de los caracteres grosor de pared y diámetro del lumen de las fibras, se calculó la Relación Runkel (RR= 2w/l; donde w=grosor de pared de fibra y l=diámetro de lumen de fibra) para cada localidad. Los caracteres se describieron y cuantificaron empleando un analizador de imágenes NIS-Elements BR 2.33 (Nikon Corporation, 1991-2006).

Con base en las localidades georeferenciadas para cada población, se generaron 18 parámetros climáticos mediante el uso del programa de modelaje bioclimático (Bioclim versión 2.0; Busby, 1986). Debido a que la madera tardía en algunos casos no fue evidente o en otros estaba escasamente desarrollada, exclusivamente se incluyeron en los análisis estadísticos nueve caracteres cuantititativos de la madera temprana. La correlación de Pearson se obtuvo entre los caracteres de la madera con la altura

y diámetro del árbol y la altitud. Considerando la alta autocorrelación entre algunas de las 18 variables climáticas, únicamente 11 no autocorrelacionadas significativamente se analizaron en conjunto con nueve variables de la madera temprana, la altura y diámetro de los árboles y la altitud mediante un análisis de componentes principales (ACP). El ACP se realizó con la finalidad de identificar que parámetros contribuían significativamente a explicar el mayor porcentaje de la variación en la madera de *Q. obtusata*. A las nueve variables de la madera temprana y la Relación Runkel se les aplicó un análisis de varianza del modelo general lineal, seguido por un análisis de comparación de medias (Duncan, 0.05) para detectar diferencias significativas entre localidades. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 1989).

RESULTADOS

Descripción anatómica (Figuras 1-3)

Anillos de crecimiento delimitados en la madera tardía por la presencia de bandas de fibras con forma rectangular en vista transversal y las paredes engrosadas, además de algunos vasos con un diámetro menor que el de los vasos de la madera temprana. Se reconocen tres variantes en las bandas de fibras que conforman la madera tardía: (1) Bandas apenas perceptibles o angostas formadas por 3-5 hileras de células (Figs. 1a, 2c), (2) bandas angostas formadas por 3-5 hileras de células, asociadas con bandas anchas de fibras de forma redondeada y pared gruesa (Fig. 1c) y (3) bandas en las que el grosor de la pared de las fibras disminuye gradualmente hacia la madera temprana (Fig. 2a). Porosidad difusa (Figs. 1, 2); vasos principalmente solitarios, arreglados en cadenas diagonales. Diámetro tangencial promedio de los vasos anchos en la madera temprana 195 ± 21 µm (169-232 µm) y de 63 ± 25 µm (15-141 µm) en los vasos angostos de la madera tardía. Se observan en la madera temprana algunos vasos con diámetro angosto, similar a los de la madera tardía. Longitud promedio de los elementos de vaso anchos y angostos en la madera temprana 580 ± 59 µm (508-722 µm) y 605 ± 43 µm (514-666 µm) respectivamente; placas de perforación simple con una inclinación de 10 a 45°, punteaduras intervasculares alternas 9 ± 0.54 µm (8.4-10.2 µm), punteaduras vaso-radio de bordes reducidos a aparentemente simples; en algunos casos con tílides en vasos. Fibras libriformes con una longitud promedio de 1477 ± 106 µm (1303-1618 µm), diámetro total de 21,8 ± 4,3 µm (17,8-34,5 µm), diámetro del lumen de 6,7 ± 0,5 µm (5,6-7,6 µm) y paredes gruesas con 6,2 ± 0,8 µm (5,0-7,6 µm); presencia de traqueidas vasicéntricas. Parénquima axial apotraqueal y paratraqueal, de abundante a regular; el apotraqueal difuso y en agregados, formando bandas tangenciales y en algunos casos diagonales; el paratraqueal vascicéntrico (Figs. 1, 2); en series de 4 a 8 células; cristales prismáticos ocasionales y granos de almidón (Fig. 3a-c). Radios uniseriados y multiseriados homogéneos (Fig. 3d, e), altura de los radios uniseriados de 464 ± 108 µm (241-614 µm), con células procumbentes; en algunos casos con cristales romboidales en pocas células.

Análisis estadísticos

Correlación entre caracteres anatómicos. En la tabla 3 se sintetizan los coeficientes de correlación significativos entre los nueve caracteres anatómicos. Las correlaciones más altas y positivas se presentaron entre la longitud de los elementos

de vaso ancho y angosto y entre la longitud del elemento de vaso ancho y la longitud de las fibras; una correlación más baja existió entre la longitud del elemento de vaso angosto y la altura del radio.

Correlación de los caracteres anatómicos con la altura y diámetro de los individuos y altitud. No se encontraron correlaciones significativas entre los caracteres anatómicos de la madera y el tamaño de los árboles (r_{ps} -0,19-0,42, $p > 0,54$), excepto para la longitud del elemento de vaso angosto ($r_p = 0,70$, $p < 0,02$). No existe correlación significativa entre la altitud con alguna de las variables de la madera ($r_{ps} < -0,56$, $p > 0,06$).

Con respecto a las variables relacionadas con las dimensiones de los árboles el análisis de correlación mostró que el tamaño se asocia positivamente con el diámetro del tronco ($r_p = 0,82$ $p < 0,002$); a su vez este último tiene una correlación significativa y negativa con la altitud ($r_p = -0,79$, $p < 0,003$).

Análisis de Componentes Principales. El análisis de componentes principales mostró que los tres primeros componentes explican 76,46% de la variación total de la madera de *Q. obtusata* (Tabla 4). El primer componente explicó 35,88% de la varianza total y los parámetros climáticos que presentaron mayor peso son las variables de la temperatura [temperatura promedio del periodo más frío (TPF) y la temperatura del periodo más cálido (TPC)] y la altitud. El segundo componente explicó 26,61% de la varianza y son la distribución de la precipitación a lo largo del año [precipitación anual (PA), precipitación del cuatrimestre más cálido (PCC) y precipitación del cuatrimestre más frío (PCF)] los que más contribuyeron. El tercer componente explicó 13,96% de la varianza remanente y tres caracteres anatómicos tuvieron mayor peso: la longitud de la fibra, longitud del elemento de vaso ancho y el grosor de la pared de la fibra, así como la relación pared/lumen de la fibra (Relación Runkel).

La figura 4 muestra la representación gráfica de los individuos de cada población, donde el primer componente separa hacia la derecha a la población de Santa Catarina, cuyos individuos se desarrollan a una menor altitud, en un ambiente donde la temperatura en el transcurso del año es la más alta de las cuatro poblaciones, con un promedio de temperaturas en las épocas cálida fría de 19,2 y 14,9° C respectivamente. En estas condiciones, las maderas presentaron los elementos de vaso más largos, así como el mayor diámetro del lumen de la fibra y correspondieron a los individuos de mayor talla. Por el contrario, hacia el lado izquierdo se separaron las poblaciones que se desarrollan en sitios con temperaturas en general más bajas que las de Santa Catarina. En estas poblaciones la longitud promedio de los elementos de vaso fue menor y también corresponden a individuos de menor talla. El segundo componente separa hacia la parte superior de la gráfica a la población de Santa Ana Jilotzingo debido a que en la zona existe una mayor precipitación promedio anual, con 1085 mm y en los periodos más cálido y más frío llueve alrededor de 312 y 38 mm respectivamente; pero esta localidad se encuentra a una altitud de 2700 m, que es la mayor registrada de los cuatro sitios, asimismo es la que muestra los valores más bajos de temperatura a lo largo del año. En estas maderas se reconocen los elementos de vaso ancho más cortos (552,30 ± 73 µm) y fibras con longitud y diámetro total más pequeños (1428,43 ± 185 µm y 20,65 ± 2 µm respectivamente) de las cuatro localidades (Tabla 2).

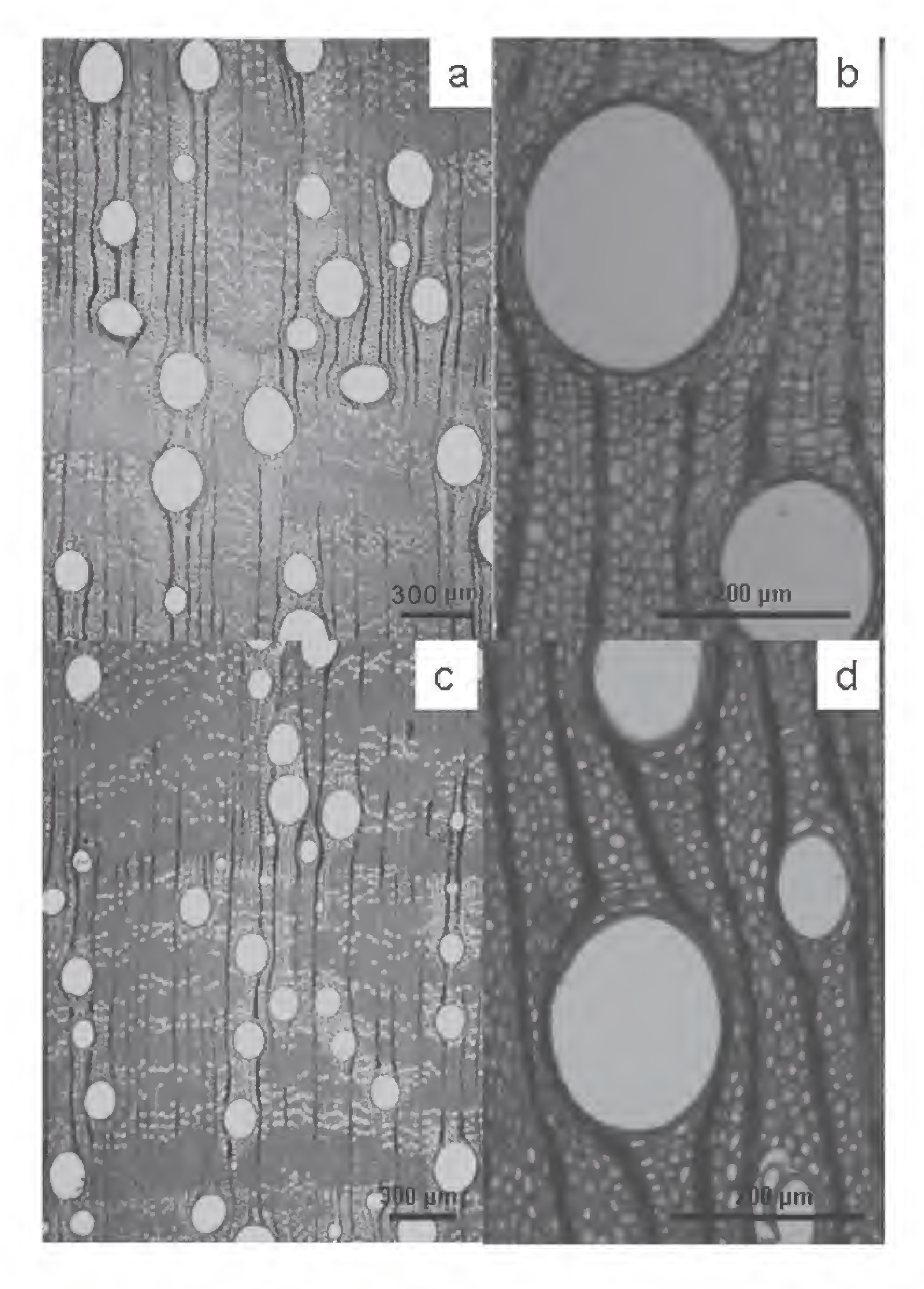


Figura 1. Vistas transversales de *Quercus obtusata*, características de anillos de crecimiento, porosidad y parénquima axial. a,b. Llano el Guilo, 338a Aguilar; c,d. Arcos del Sitio, 343a Aguilar.

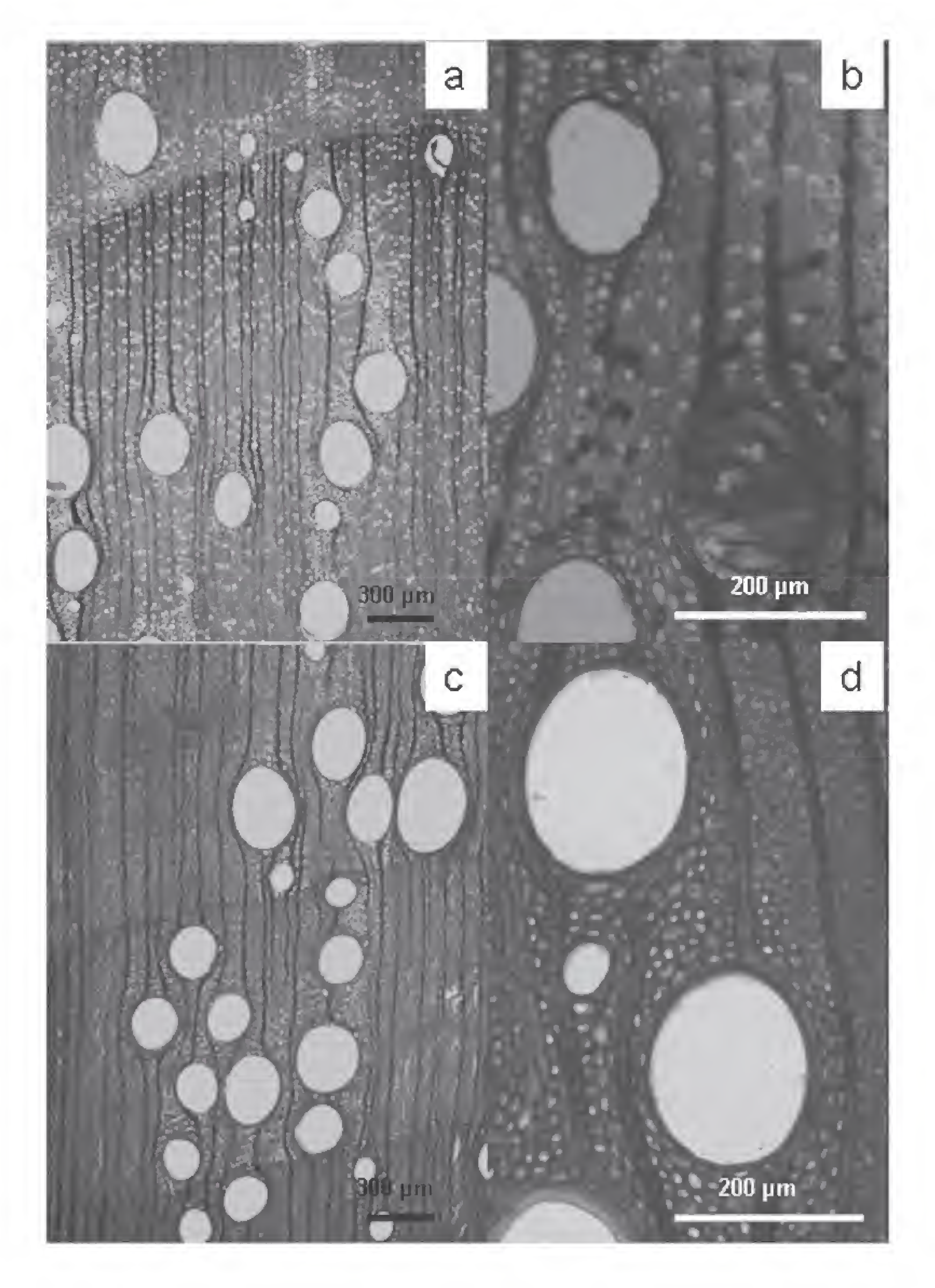


Figura 2. Características de anillos de crecimiento, porosidad y parénquima axial de *Quercus obtusata*, cortes transversales. a,b. Santa Catarina, 349 Aguilar; c,d. Santa Ana Jilotzingo, 350 Aguilar.

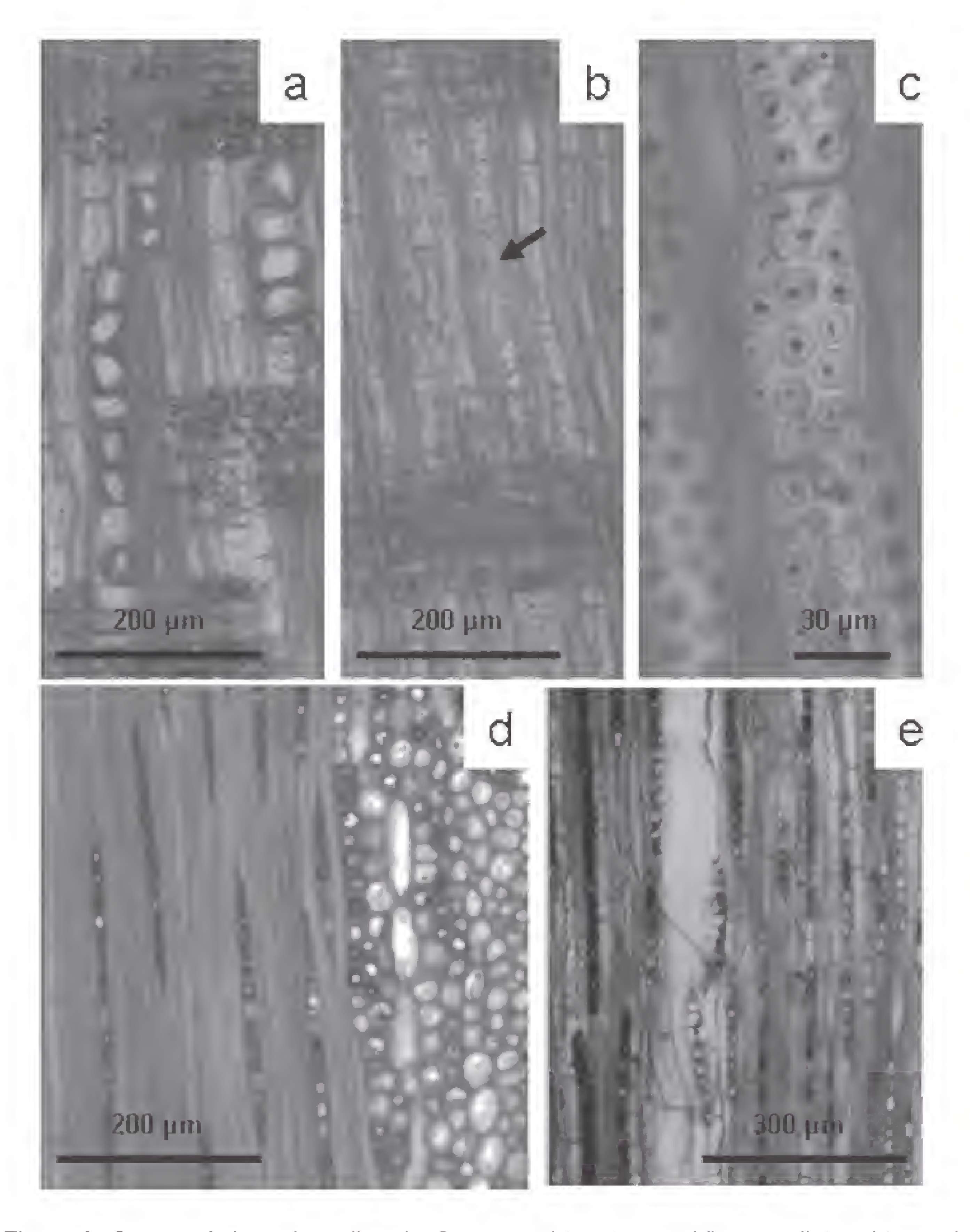


Figura 3. Características de radios de *Quercus obtusata*. a-c. Vistas radiales, Llano el Guilo. a. cristales prismáticos, 338; b, c. parénquima axial con almidón, 338b Aguilar; d, e. Vistas tangenciales. d. Llano el Guilo, 338b; e. Arcos del Sitio, 343a Aguilar.

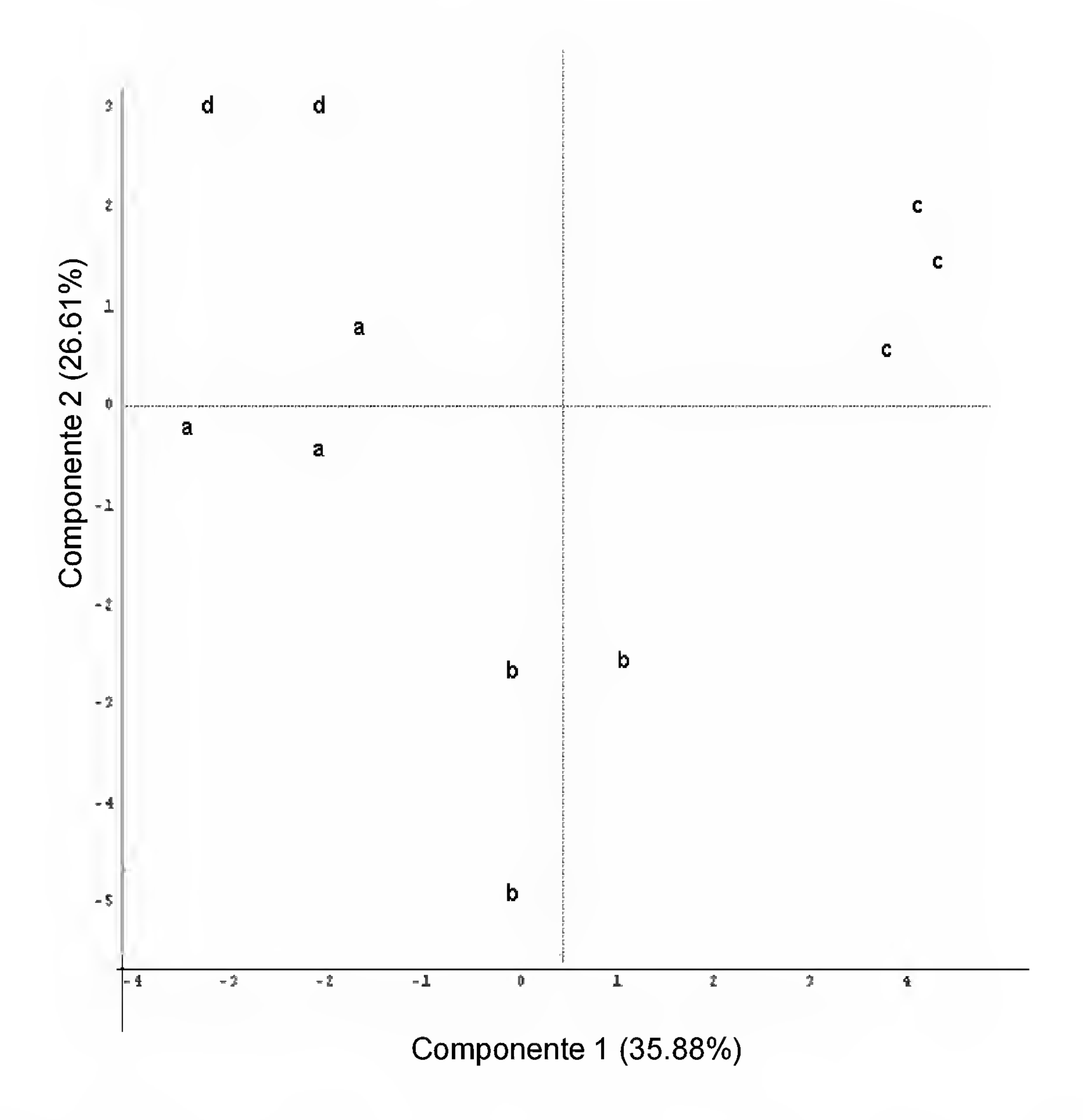


Figura 4. Representación gráfica del análisis de componentes principales de las poblaciones de *Quercus obtusata* colectadas en cuatro localidades. Los componentes 1 y 2 explican 62,49% de la variación total.

Análisis de varianza. El análisis de varianza no detectó diferencias significativas para los caracteres anatómicos entre las localidades ($> 0,19$ $p < 0,96$), excepto para la altura de radios ($F = 3,88$, $gl = 3$, $p < 0,05$), los cuales son más cortos en Llano el Guilo (Tabla 2) y la Relación Runkel ($F = 15,28$, $gl = 3$, $p < 0,001$), siendo mayor en Arcos del Sitio (Tabla 2). Sin embargo, algunas tendencias pudieron apreciarse. Por ejemplo, la longitud de los elementos de vaso ancho y angosto más largos los presentó la localidad con mayor humedad, Santa Catarina, con 621,31 ± 109 µm y 645,88 ± 82 µm respectivamente; los elementos de vaso ancho más cortos, con 552,30 ± 73 µm de longitud, los presentó la localidad de Santa Ana Jilotzongo, que se ubica a la mayor altitud de las poblaciones muestreadas. Los radios uniseriados más altos se presentaron en la localidad de Santa Ana Jilotzingo, con 515,43 ± 121µm, la población con mayor humedad, mientras que los radios más cortos con 326,71 ± 126 µm, se presentaron en Llano el Guilo.

Tabla 1. Características de los individuos, ubicación geográfica y variables climáticas de los sitios de colecta de *Quercus obtusata*. Oscilación diurna de la temperatura (*ODT*), isotermalidad (*ISO*), estacionalidad de la temperatura (*ET*), temperatura máxima promedio del periodo más cálido (*TMMPC*), temperatura mínima promedio del periodo más frío (*TMPPF*), temperatura promedio del periodo más lluvioso, (*TPCLL*), temperatura promedio del periodo cálido (*TPC*), temperatura promedio del periodo más frío (*TPF*), precipitación anual (*PA*), precipitación promedio del periodo más cálido (*PCC*), precipitación promedio del periodo más frío (*PCF*).

Variables/Localidades	Llano el Guilo, Estado de México	Arcos del Sitio, Estado de México	Santa Catarina, Morelos	Santa Ana Jilotzingo, Estado de México
Identificación	a	b	c	d
Altura (m)	13 13 15	15 18,6 11	24 19 32	15 19
DAP (cm)	43 36,5 33,5	44 47 34	64 42 32	31 29
Coordenadas	19°42´44”	19°41´05”	19°00´51”	19°33´1”
N / W	99°27´37”	99°12´21”	99°09´43”	99°24´1”
Altitud (m s.n.m.)	2525	2402	2220	2700
Tipo de vegetación	Bosque de encino-pino	Matorral xerófilo	Bosque de encino con elementos mesófilos	Bosque de encino
ODT	16,2	16,7	15,2	14,7
ISO	0,68	0,67	0,68	0,68
ET	0,66	0,7	0,57	0,6
TMMPC	25,8	27,1	28,2	24,2
TMPPF	2	2,2	5,7	2,6
TPCLL	15,8	17	18	14,8
TPC	16,6	17,7	19,2	15,8
TPF	11,8	12,6	14,9	11,3
PA	886	721	996	1085
PCC	295	246	289	312
PCF	31	22	30	38

Tabla 2. Media y desviación estándar (en µm) de nueve caracteres cuantitativos de la madera para cada población de *Quercus obtusata*. Diámetro del lumen del elemento de vaso ancho (DIVA), longitud del elemento de vaso ancho (LOVA) y angosto (LOVE), diámetro de la punteadura intervascular (DIPU), diámetro de la fibra (DIFI), lumen de la fibra (LUFI), pared de la fibra (PAFI), longitud de la fibra (LOFI) y altura del radio uniseriado (ALRA), Relación Runkel (RR), r = regular, m = mala. Letras distintas indican diferencias significativas (Duncan, p <0.05), columnas sin letras no hay diferencias significativas.

Localidad	DIVA	LOVA	LOVE	DIPU	DIFI	LUFI	PAFI	LOFI	ALRA	RR
Llano el Guilo	188,80±26	584,84±81	579,75±85	8,87±1	24, 26±2	6,63±2	5,68±1	1523,69±220	326,71±126^{a}	1,71^{b} (r)
Arcos del Sitio	197,91±37	561,26±87	597,15±93	9,47±1	21,04±2	6,42±2	6,69 ±1	1487,37±195	508,12±142^{b}	2,08^{a} (m)
Santa Catarina	196,92±37	621,31±109	645,88±82	9,75±1	21,49±3	7,03±2	6,56±1	1468,77±196	505,61±86^{b}	1,86^{c} (r)
Santa Ana Jilotzingo	196,60±30	552,30±73	596,66±78	9,63±0,7	20,66±2	6,81±1	6,09±0,8	1428,43±185	515,43±121^{b}	1,78^{b} (r)

Tabla 3. Coeficientes de Correlación de Pearson para nueve caracteres anatómicos de *Q. obtusata*. p < 0,03=*, p<0,006= **. Abreviaturas de las variables en la Tabla 2.

Variables	DIVA	LOVA	LOVE	DIPU	DIFI	LUFI	PAFI	LOFI	ALRA
DIVA	1,00	0,41	0,20	0,46	-0,10	0,23	0,02	0,54	0,03
LOVA		1,00	**0,74****	0,25	0,25	0,19	-0,30	**0,74****	0,21
LOVE			1,00	0,29	0,35	0,46	0,08	0,48	**0,64***
DIPU				1,00	-0,10	0,20	0,03	0,07	0,54
DIFI					1,00	0,21	-0,08	0,33	0,11
LUFI						1,00	-0,22	0,41	0,03
PAFI							1,00	-0,46	0,31
LOFI								1,00	-0,08
ALRA									1,00

Tabla 4. Eigenvectores del análisis de componentes principales de los caracteres anatómicos de la madera de *Quercus obtusata*. Las variables con mayor carga marcadas en negritas. Altura del individuo (ALTURA in), abreviaturas de las variables en las Tablas 1 y 2.

Variables	PRIN 1	PRIN 2	PRIN3
DIVA	0,031	0,035	0,252
LOVA	0,157	0,101	**0,374**
LOVE	0,239	0,122	0,161
DIPU	0,102	0,195	0,164
DIFI	0,190	-0,078	-0,225
LUFI	0,093	0,223	0,187
PAFI	0,143	-0,159	**-0,326**
LOFI	0,038	0,017	**0,524**
ALRA	0,164	0,048	-0,099
RR	0,050	0,243	**-0,360**
ALTURA in	0,254	0,168	-0,104
DAP	0,270	-0,027	0,023
ALTI	**-0,315**	0,096	-0,044
ODT	-0,057	-0,356	0,189
ISO	-0,019	0,341	-0,053
ET	-0,250	-0,201	0,167
TMMPC	0,305	-0,138	0,058
TMPPF	0,292	0,174	-0,102
TPCLL	0,313	-0,123	0,045
TPC	**0,326**	-0,070	0,019
TPF	**0,329**	0,008	-0,010
PA	0,006	**0,378**	-0,146
PCC	-0,084	**0,357**	-0,084
PCF	-0,103	**-0,362**	-0, 116

DISCUSIÓN

Se encontró variación en las características de los anillos de crecimiento entre los individuos de *Quercus obtusata*. En Llano el Guilo y Santa Ana Jilotzingo, las bandas de fibras con paredes engrosadas que definen la madera tardía, son apenas perceptibles, mientras que en Santa Catarina, el grosor de la pared de las fibras en la banda disminuye de manera progresiva hacia la madera temprana. La formación y características de los anillos de crecimiento, pueden estar asociados con fenómenos ambientales, fisiológicos (Carquist, 1988), o relacionarse con el origen geográfico de las especies (Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales, 2005); para el caso de *Q. obtusata* aspectos endógenos como los fisiológicos, podrían estar regulando las diferencias observadas. El parénquima axial también exhibe diferencias; a pesar de que aquí se describe como apotraqueal difuso y en agregados y paratraqueal vascicéntrico en la madera de individuos que crecen en Santa Ana Jilotzingo existe menor cantidad de parénquima axial que en el resto de las otras localidades. Esta variación también se observa al comparar lo reportado por otros autores para la misma especie (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2000; De la Paz Pérez-Olvera, 1982, 1985; De la Paz Pérez-Olvera *et al.*, 2006; Honorato, 2002; Ortega *et al.*, 1988).

Asociación entre caracteres anatómicos. La correlación entre caracteres anatómicos mostró que en la madera de *Q. obtusata* los coeficientes de correlación más altos y positivos existen entre la longitud de los elementos de vaso, la longitud de la fibra y la altura de los radios; fenómeno que puede explicarse por el origen común que estos elementos tienen en el cámbium vascular (Bailey, 1920; Metcalfe y Chalk, 1983), por lo que frecuentemente resultados similares se han obtenido para otros taxa (Aguilar-Rodríguez y Terrazas, 2001; Carlquist y Hoekman, 1985; Moya y Tomazello, 2008). Sin embargo, en *Q. obtusta* ninguno de los caracteres de las fibras, como longitud, diámetro, lumen y pared, mostraron alguna asociación significativa entre ellos, a diferencia de lo registrado para otras especies (Aguilar-Rodríguez y Terrazas, 2001). Estos caracteres tampoco varían significativamente entre las diferentes localidades; aunque las fibras con paredes de mayor grosor se observan en la localidad más seca (Arcos del Sitio); estas diferencias no son estadísticamente significativas con las de Santa Catarina, que se caracteriza por tener una mayor humedad ambiental.

La asociación entre caracteres de las fibras ha sido utilizada para establecer ciertas propiedades de la madera; por ejemplo, en la elaboración de pulpa para papel caracteres como pared, diámetro, lumen y longitud de la fibra, permiten obtener algunos criterios sobre su calidad (Tamarit, 1996; Tamolang y Wangaard, 1961; Yáñez-Espinosa *et al.*, 2004). Con base en esto la madera de algunas especies de *Quercus* ha sido propuesta para ser empleada en la elaboración de papel de buena y regular calidad (Honorato, 2002; Tamarit, 1996), por lo que registrar la variación en estas características puede aportar información para la elección de poblaciones con este fin. Lo anterior se ve reflejado de manera general en *Q. obtusata*, pues haciendo un ensayo con respecto a los valores obtenidos de la Relación Runkel se observa que las fibras de calidad regular para la elaboración potencial de pulpa se encuentra en aquellas maderas que se desarrollan en poblaciones con mayor cantidad de precipitación al año como Llano el Guilo, Santa Ana Jilotzingo y Santa Catarina, mientras que fibras de mala calidad están presentes en maderas de árboles que crecen en ambientes como el de Arcos del Sitio, en donde se registra menor precipitación de lluvia, así como los individuos de menor talla.

Variación anatómica de la madera asociada con el clima. Numerosos trabajos han evaluado la relación que los caracteres anatómicos de la madera tienen con el clima (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006; Cordell *et al.*, 1998; Dünisch y Bauch, 1994; Moya y Tomazello, 2008; Psaras y Sofroniou, 1999; Roig, 1986; Villagra y Roig, 1997; Villar-Salvador *et al.*, 1997; Wiemann *et al.*, 2001; Yáñez-Espinosa y Terrazas, 2001) y aunque se han propuesto tendencias ecológicas generales, el estudio de la variación de la madera a nivel intraespecífico es interesante, debido a que los resultados no siguen siempre un patrón típico y las diferencias entre las dimensiones de los elementos de vaso y fibras en las maderas provenientes de ambientes contrastantes llegan a ser evidentes (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006; Arias y Terrazas, 2001; Cordell *et al.*, 1998; Roig, 1986; Noshiro y Baas, 2000; Villagra y Roig, 1997). Para el caso de *Q. obtusata*, el análisis de componentes principales reveló que la distribución de la temperatura y la precipitación a lo largo del año, así como el promedio total de lluvia al año, separaron las cuatro localidades de *Q. obtusata*. A pesar de que las poblaciones de esta especie se desarrollan principalmente en ambientes templados, el microclima en su área de distribución

varía de un sitio a otro. En Santa Catarina, Morelos, se registró una precipitación anual de 996 mm y la temperatura del periodo más frío de 15° C, que es la más alta de las cuatro poblaciones. En este sitio el lumen de las fibras y la longitud de los elementos de vaso mostraron sus mayores dimensiones con respecto a las demás poblaciones. Es sabido que la presencia de los elementos de vaso y fibras largos, con lúmenes amplios se relacionan con una elevada humedad (Aguilar-Rodríguez y Barajas-Morales, 2005), aspecto que también se ha visto en las especies perennifolias *Quercus coccifera* y *Q. ilex* (Villar-Salvador *et al.*, 1997), donde la longitud de los elementos de vaso aumenta conforme hay una mayor precipitación, así como en *Gmelina arborea* para diámetro y lumen de la fibra (Moya y Tomazello, 2008). En la localidad más seca, Arcos del Sitio, con una precipitación promedio de 721 mm y temperatura anual de 13º C, el grosor de la pared de las fibras tiende a ser mayor y su lumen a estar más reducido, así mismo, la longitud de los elementos de vaso ancho es más corta; éstos últimos también están reducidos en Santa Ana Jilotzingo, localizada a una mayor altitud (2700 m s.n.m.). En otros casos se ha reconocido la influencia negativa que la altitud tiene sobre algunos caracteres anatómicos, encontrándose que los cambios en la anatomía de la madera son parecidos a los que se producen por sequía o congelación (Fisher *et al.*, 2007; Metcalfe y Chalk, 1983). Sin embargo, no siempre existen tendencias en todos los elementos celulares con respecto al clima, como es el caso en *Q. obtusta* para la longitud de las fibras y la altura de los radios uniseriados. Las fibras más largas se reportan para Llano el Guilo, población con características climáticas intermedias entre las localidades; probablemente, la mayor dimensión de las fibras en esta localidad está relacionada con el crecimiento intrusivo de las mismas, el cual puede comprender un tiempo de diferenciación más amplio durante la época favorable. Otro aspecto que llama la atención es que en Santa Ana Jilotzingo los radios uniseriados son los más altos, situación que quizá se asocie con la menor cantidad de parénquima axial presente en su madera, a diferencia de lo que se aprecia en las otras localidades. Respuestas poco claras de algunos elementos celulares con factores climáticos, latitudinales o altitudinales han sido observadas en *Quercus faginea*, especie caducifolia (Villar-Salvador *et al.*, 1997); en *Gmelina arborea* la longitud de las fibras y altura de radios tampoco fueron significativas con los parámetro ecológicos estudiados (Moya y Tomazello, 2008), así como en especies de otros grupos taxonómicos (Liu y Noshiro, 2003; Noshiro y Baas, 2000). Al respecto Liu y Noshiro (2003) exponen que la variación en la anatomía de la madera a nivel de especie no siempre es controlada por gradientes ecológicos.

Variación anatómica de la madera asociada con el hábito. Con respecto al hábito de los individuos de *Quercus obtusata* sólo se encontró una correlación significativa y positiva con la longitud del elemento de vaso angosto (≤ 150 μm). Es común esperar que conforme aumenta la talla de los individuos los elementos celulares también incrementen su tamaño (Aguilar-Rodríguez *et al.*, 2006; Arias y Terrazas, 2001; Noshiro y Baas, 1998, 2000; Terrazas *et al.*, 2008), como se observa en *Cornus controversa*, donde existe una relación positiva entre la longitud del elemento de vaso y la altura y diámetro del tallo (Noshiro y Baas, 2000). Sin embargo, la longitud de las fibras en *Q. obtusata* no mostró alguna asociación significativa con la altura de los individuos, aspecto poco común, pues en general las dimensiones de las fibras, en especial su longitud, aumentan con rela-

ción al tamaño del individuo como se ha observado en *Pachycereus pecten-aboriginum*, *Buddleja cordata* y *Gmelina arborea* (Aguilar-Rodríguez *et al*., 2006; Arias y Terrazas, 2001; Moya y Tomazello, 2008). No obstante, comparando los datos obtenidos en este estudio con lo publicado por Aguilar-Rodríguez *et al*. (2000) y De la Paz Pérez-Olvera (1985), la longitud de las fibras de *Q. obtusata* es mayor en individuos más altos (20 m), en los cuales se reporta una longitud promedio para las fibras de 1880 µm y 1696 µm respectivamente. Aunque existen varios trabajos donde se aporta información sobre estos elementos, no siempre se pueden comparar con la talla de los individuos por la falta de información en los trabajos consultados.

En *Q. obtusata* existe una correlación positiva y significativa entre el tamaño y diámetro de los individuos y negativa con el gradiente altitudinal, observándose que árboles de menor talla y diámetro se localizaron en Santa Ana Jilotzingo, zona de mayor altitud, en contraste con los que crecen en Santa Catarina, en donde la altitud es menor. Esto concuerda con las tendencias generales propuestas para otras especies, como *Metrosideros polymorpha* y *Rhododendron caucasicum* (Cordell *et al*., 1998; Merev y Yavuz, 2000).

CONCLUSIONES

En la madera de *Q. obtusata* se detectó una respuesta significativa con algunas de las variables climáticas, que pueden afectar la calidad de la pulpa de madera. Por ello, se deberán tomar en cuenta estos resultados en programas de restauración ecológica o reforestación con fines de aprovechamiento. Los estudios sobre variación anatómica en la madera a nivel de especie muestran resultados contrastantes, consecuencia de condiciones ambientales de cada localidad. Por lo que para sugerir un uso adecuado para la especie se debe poner atención en su procedencia microclimática, pues ésta influye directamente en el comportamiento de los elementos celulares.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a la Dra. Silvia Romero Rangel y M. en C. E. Carlos Rojas Zenteno, del laboratorio de árboles y arbustos de la FES Iztacala UNAM, la selección e identificación de los individuos en el campo. Este estudio fue financiado a través del Programa de Apoyo a los Profesores de Carrera para la formación de Grupos de Investigación PAPCA 2003-2004, de la FES Iztacala, UNAM y el análisis y escritura de este manuscrito se concluyo durante el periodo sabático de SAR.

REFERENCIAS

Aguilar-Rodríguez, S. y B. J. Castro-Plata. 2006. Anatomía de la madera de doce especies del bosque mesófilo de montaña del Estado de México. Madera y Bosques 12(1): 95-115.

Aguilar-Rodríguez, S., J. Barajas-Morales y J. D. Tejero-Díez. 2000. Anatomía de maderas de México: especies de un bosque mesófilo de montaña. Instituto de Biología, UNAM 87 p.

Aguilar-Rodríguez, S., y J. Barajas-Morales. 2005. Anatomía de la madera de especies arbóreas de un bosque mesófilo de montaña: un enfoque ecológico-evolutivo. Boletín de la Sociedad Botánica de México 77:51-58.

Aguilar-Rodríguez, S. y T. Terrazas. 2001. Anatomía de la madera de *Buddleja*

L. (Buddlejaceae): análisis fenético. Madera y Bosques 7(2):63-85.

Aguilar-Rodríguez, S., T. Terrazas y L. López Mata. 2006. Anatomical wood variation of *Buddleja cordata* (Buddlejaceae) along its natural range in Mexico. Trees 20:253-261.

Arias, S. y T. Terrazas, 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). Anales del Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72(2):157-169.

Bailey, I. W. 1920. The cambium and its derivative tissues. II Size variations of cambium initials in gymnosperms and angiosperms. American Journal of Botany 7:355-367.

Berlyn, G. P. y J. P. Miksche. 1976. Botanical microtechnique and cytochemistry. Iowa State University Press. Iowa. 326 p.

Busby, J. R. 1986. Bioclimatic Prediction System (BIOCLIM) User`s Manual version 2.0 Australian Biological Resources Study Leaflet.

Carlquist, S. 1988. Comparative wood anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood. Springer-Verlag. Berlin. 436 p.

Carlquist, S. y D. A. Hoekman. 1985. Ecological wood anatomy of the woody southern Californian flora. International Association of Wood Anatomists Bulletin new series 6:319-347.

Cordell, S., G. Goldstein., D. Mueller, D. Webb y P. M. Vitousek. 1998. Physiological and morphological variation in *Metrosideros polymorpha*, a dominant Hawaiin tree species, along an altitudinal gradient: the role of phenotypic plasticity. Oecologia 113:188- 196.

Corral, L. 1981. Anatomía de la madera de siete especies del género *Quercus*. Boletín divulgativo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, núm. 73. México, D.F. 45 p.

De la Paz Pérez-Olvera, C. 1976. Características anatómicas de cinco encinos de México. Boletín Técnico del Instituto Nacional de. Investigaciones Forestales, núm. 46. México, D.F. 33 p.

De la Paz Pérez-Olvera, C. 1982. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. Boletín Técnico del Instituto Nacional de. Investigaciones Forestales núm. 43. México, D.F. 35 p.

De la Paz Pérez-Olvera, C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. Boletín Técnico del Instituto Nacional de. Investigaciones Forestales, núm. 123. México, D.F. 70 p.

De la Paz Pérez-Olvera, C. y R. Dávalos-Sotelo. 2008. Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. Madera y Bosques 14(3):43-80.

De la Paz Pérez-Olvera, C. y A. Quintanar I. 1994. Características anatómicas de la madera de cinco especies del estado de Jalisco, México. Acta Botánica Mexicana 27:75-87.

De la Paz Pérez-Olvera, C., A. Campos R., A. Quintanar I. y R. Dávalos-Sotelo. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del género *Quercus* (*Fagaceae*) del estado de Veracruz. México. Madera y Bosques 4(2):45-65.

De la Paz Pérez-Olvera, C., R. Dávalos-Sotelo. y E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino en México. Madera y Bosques 6(1):3-13.

De la Paz Pérez-Olvera, C., S. Vélez J. y J. Ceja R. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México. Madera y Bosques 12(1): 63-94.

Dünisch, O y J. Bauch. 1994. Influence of mineral elements on wood formation of old growth spruce (*Picea abies* [L.] Karst). Holzforcechung 48:5-14.

Fisher, B. J., G. Goldstein, T. J. Jones y S. Cordell. 2007. Wood vessel diameter is related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). American Journal of Botany 94:709-715.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 5ª. Ed. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Serie libros núm. 6. 90 p.

Honorato, S. J. A. 2002. Índices de calidad de pulpa y papel de encinos mexicanos. *In*: J. Quintanar O, ed. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Centro Campo experimental San Martinito. Puebla. p: 107-121.

Honorato, S. J. A. y M. E. Fuentes L. 2001. Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encino del estado de Guanajuato. Ciencia Forestal 90:5-28.

IAWA Committee. 1989. International Association of Wood Anatomists list of microscopic features for hardwood identification. International Association of Wood Anatomists Bulletin new series 10:219-332.

Johansen, J. 1940. Plant microtechnique. Mc Graw-Hill Book Co. Nueva York. 523 p.

Liu, J. y S. Noshiro. 2003. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution. American Journal of Botany 90:532-539.

Martínez, C. D., T. Terrazas y F. Zavala Ch. 2003. Arquitectura foliar y anatomía de la corteza y la madera de *Quercus Sartorii* y *Quercus Xalapensis* (Fagaceae). Boletín de la Sociedad Botánica de México 73:62-72.

Metcalfe, C. R. y L. Chalk. 1983. Anatomy of the dicotyledons, vol. II. 2 ed. Clarendon Press, Oxford. 297 p.

Merev, N. y H. Yavuz. 2000. Ecological wood anatomy of Turkish *Rhododendron* L. (Ericaceae). Intraspecific variation. Turkish Journal of Botany 24:227-237.

Moya, R. y M. Tomazello F. 2008. Variation in the wood anatomical structure of *Gmelina arborea* (Verbenaceae) trees at different ecological conditions in Costa Rica. Revista de Biología Tropical 56(2):689-704.

Nikon Corporation. 1991-2006. NIS-Elements, Versión 2.33.

Noshiro, S. y P. Baas. 1998. Systematic Word anatomy of Cornaceae and allies. International Association of Wood Anatomists Journal 19:43-97.

Noshiro, S. y P. Baas. 2000. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: Case study in *Cornus* s.l. (Cornaceae). American Journal of Botany 87:1495-1506.

Ortega, F., L. Guerrero, T. Carmona y C. Córdoba. 1988. Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. La madera y su uso Boletín Técnico, núm. 19. INIREB- LACITEMA. México. 206 p.

Psaras, G.K. y I. Sofroniou.1999. Wood anatomy of *Capparis spinosa* from an ecological perspective. International Association of Wood Anatomists Journal 20:419-429.

Quintanar, O. J. 2002. Aprovechamiento forestal y usos de los encinos de México. *In*:J. Quintanar O, ed. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Centro Campo experimental San Martinito. Puebla. p: 21-33.

Roig, J. F. A. 1986. The wood of *Adesmia horrida* and its modifications by climatic conditions. International Association of Wood Anatomists Bulletin 7:129-135.

Romero, R. S., E. C. Rojas Z. y E. Aguilar. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. Annals of the Missouri Botanical Garden 89(4):551-593.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México, D.F. 472 p.

SAS Institute. 1989. SAS user's guide statistics. Cary, North Carolina.

Tamarit, U. J.C. 1996. Determinación de los índices de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. Madera y Bosques 2(2):29-41.

Tamolang, F. N. y F. F. Wangaard. 1961. Relationships between harwood fiber characteristics and pulpsheet properties. Tappi 44(3):201-216.

Terrazas, T y S. Loza-Cornejo. 2003. Anatomía de la madera y alometría de veinte especies de *Stenocereus* (Cactaceae). Anales del Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 74(2):195-208.

Terrazas, T., S. Aguilar-Rodríguez y L. López-Mata. 2008. Wood anatomy and its relation to plant size and latitude in *Buddleja* L. (Buddlejaceae). Interciencia 33(1):46-50.

Valencia, A. S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75:33-53.

Valencia, A. S. y J. Barajas-Morales, 1995. Comparación anatómica de la madera de *Quercus affinis* y *Q. laurina* (Fagaceae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 66(2):113-131.

Villar-Salvador, P., P. Castro-Díez, C. Pérez –Rontomé y G. Montserrat-Martí. 1997. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. Trees 12: 90-96.

Villagra, P. y F. A. Roig J. 1997. Wood structure of *Prosopis alpataco* and *P. argentina* growing under different edaphic conditions. Internacional Association of Wood Anatomists Journal 18:37- 51.

Wiemann, C. M., D. L. Dilcher y S. R. Manchester. 2001. Estimation of mean annual temperature from leaf and wood physionomy. Forest Science 47(2):141-149.

Yáñez-Espinosa, L. y T. Terrazas. 2001. Variación anatómica en la madera y en la corteza de *Annona glabra* L. bajo inundación. Agrociencia 34:51-63.

Yáñez-Espinosa, L., T. Terrazas, L. López-Mata y J. I. Valdez-Hernández. 2004. Wood variation in *Laguncularia racemosa* and its effect in fibre quality. Wood Science and Technology 38:217-226.

Manuscrito recibido el 6 de mayo de 2009
Aceptado el 11 de diciembre de 2009

Este documento se debe citar como: Chávez Romero, D.M., S. Aguilar-Rodríguez y T. Terrazas. 2010. Variación anatómica en la madera de *Quercus obtusata* (Fagaceae). *Madera y Bosques* 16(2):69-87.

NOTA TÉCNICA

A general sectional volume equation for classical geometries of tree stem

Una ecuación general para el volumen de la sección de las geometrías clásicas del tronco de los árboles

Gildardo Cruz de León[1]

ABSTRACT

This work refers to the classical theory of tree stem form. It shows the derivation of a general sectional volume equation for frustums of solids of revolution generated by the function $y_2 = p_n x^n$ where, p_n is a positive constant, and n any positive integer. The cylinder case presents a singular situation because of its sectional volume equation cannot be defined for $n = 0$ as it is known for the generating function. However, that geometry is implicit as a trivial solution of the derived equation. The known sectional volume equations for frustums of paraboloid, conoid and neiloid are particular cases of that equation for n =1, 2, and 3, respectively. The general sectional volume equation has an unexpected statistical nature. It is given as an arithmetic mean of geometric means The classical theory of tree stem form continue being present in the forest measurement teaching and research. This work could contribute to improve the understanding on that theory.

PALABRAS CLAVE:
Dendrometry, applied mathematics.

RESUMEN

Este trabajo se refiere a la teoría clásica de la forma del tronco del árbol. Se muestra la derivación de una ecuación de volumen general de la sección de sólidos de revolución truncados generada por la función $y_2 = p_n x^n$ donde, p_n es una constante positiva, y n un entero positivo. El caso del cilindro constituye un caso singular pues su ecuación de volumen de la sección no se puede definir para n = 0, ya que es conocido por la función generadora. Sin embargo, esa geometría está implícita como una solución trivial de la ecuación derivada. Las ecuaciones conocidas de volumen de secciones truncadas de paraboloides, conoides y neiloides son casos particulares de la ecuación para n = 1, 2 y 3, respectivamente. La ecuación general de volumen de la sección es de una naturaleza estadística inesperada. Se da como una media aritmética de medias geométricas. La teoría clásica de la forma del árbol sigue estando presente en la enseñanza de medición e investigación forestal. Este trabajo podría contribuir a mejorar la comprensión de esa teoría.

PALABRAS CLAVE:
Dendrometría, matemáticas aplicadas.

1 Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Apartado Postal 580, 58000. Morelia Michoacán, México. Phone: (443) 326 03 79 E-mail: gcruzl@umich.mx

INTRODUCTION

Tree stem and log volume estimations are some of the main goals in forest measurements. It is a difficult task because those volumes depend on their geometry (Brack, 1999). For more than a century researchers have been working extensively on the problem of tree stem geometry from fundamental and empirical points of view. In the first case one line of assessment has been by means of mechanical theories. As quoted by Larson (1963) and Dean and Long (1986), assuming that tree stem develops a particular form to maintain the bending stress constant under the influence of wind, in 1893, Metzger found a stem geometry where the cube diameter is proportional to height. Regarding that gravity determines tree stem shape the square diameter results proportional to the cube of height (McMahon, 1973). The empirical point of view can be divided on classical and current theories. In the classical theory a tree stem is modeled by parts using simple geometries of solids of revolution (Graves, 1906). Current theories suggest particular geometric models developed for each species by means of taper equations for the whole tree stem (West, 2004).

The classical theory of tree stem form has a significant position in the forest measurement literature. At least for a century it has been included in standard books of that field (Graves, 1906; Van Laar and Akça, 2007). The classical theory is considered as part of old research in forest measurements (West, 2004). However, it continues being a useful reference in research problems that depends on tree stem geometry. For instance, it has been used to derive the equation for the centroid position in the development of the centroid sampling method for tree stem volume estimation (Wood *et al.*, 1990) and to derive a general relation between stem volume and stem surface form-factors independent of position (Inoue, 2006).

This work shows the derivation of a general sectional volume equation for the classical tree stem geometries. It is based on the classical theory of stem form, sectional methods of volume estimation, elementary algebra, and calculus. A summary of that methodology is provided below.

MODELS AND METHODS

Classical geometries of tree stem

Tree stem form can be modeled by longitudinal sections using elementary geometries of solids of revolution generated by the equation

$$y_2 = p_n x^n \qquad [1]$$

where p_n and n are constants such that $p_n>0$ and $n \geq 0$ (Graves, 1906). Currently, only the cases n = *0, 1, 2,* and *3,* related to cylinder, conoid, paraboloid, and neiloid, respectively, are assigned the classical tree stem geometries (Diéguez-Aranda *et al.*, 2003). For this work, the original conception of equation [1] will represent the classical geometries of tree stem and the study refers to any positive integer n.

Tree stem volume estimation

Different types of methods to estimate tree stem volume are used in forest measurements. Some of those methods consist in: i) to propose a taper equation and then to estimate the volume by integral calculus, ii) to propose a volume equation where the volume can be directly obtained as a function of height, normal diameter, and total height, and iii)

to use a sectional method where the volume can be known for longitudinal sections as function of cross sectional areas and lengths (Brack, 1999).

The problem of volume estimation is critical when the volume of logs needs to be estimated at field where no information of the original tree stem standard parameters or geometry is at hand. For those common situations the use of sectional methods is unavoidable (Bruce, 1982).

General definition of sectional methods

For simplicity, tree stem longitudinal sections and logs will be called here tree stem segments.

Any sectional method to estimate the volume of a tree stem segment, of length *L*, is refereed to the volume of a cylinder and can be written as

$$V = \overline{S}L \qquad [2]$$

where $\overline{S}$ is an average cross sectional area (Avery and Burkhart, 2002). What defines a particular sectional method is the form of S as function of selected cross sectional areas. Equation [2] will be essential in this work.

Standard sectional methods

The generally accepted sectional methods for volume estimation of tree stem segments in the forest measurement literature are the Huber, Smalian, and Newton methods. Following the notation of Chapman and Meyer (1949), for a tree stem segment, of length L, end cross sectional areas, B at the large end, b at the small end, and $B_{1/2}$ at the middle, those standard sectional methods can be respectively defined by

$$\overline{S}_H = B_{1/2} \qquad [3]$$

$$\overline{S}_S = \left(\frac{B+b}{2}\right) \qquad [4]$$

$$\overline{S}_N = \left(\frac{B+4B_{1/2}+b}{6}\right) \qquad [5]$$

Then, $V_H = \overline{S}_H L$, $V_S = \overline{S}_S L$, and $V_N = \overline{S}_N L$, are their corresponding volumes in agreement to equation [2] .

Definition of systems and parameters for this work

Usually, solids of revolution generated by equation [1] are placed in a *x y z* Cartesian coordinate system with their axis of rotation along the *x* axis and their tips at the origin (Diéguez-Aranda et al., 2003). The systems for this work are defined as frustums of length L of those solids of revolution for any positive integer n. The end cross sectional areas will be called here, s for the small end, at $x = x_1$, and S for the large end, at $x = x_2$. By definition, $x_1 < x_2$, then, $L = x_2 - x_1$.

Sectional volume equations for the tree stem classical forms

The volumes for frustums of solids of revolution generated by equation [1], for n=0, 1, 2, and 3, as function of end cross sectional areas and length, are

$$V_0 = SL = sL \qquad [6]$$

$$V_1 = \left(\frac{S+s}{2}\right)L \qquad [7]$$

$$V_2 = \left(\frac{S + \sqrt{Ss} + s}{3} \right) L \qquad [8]$$

$$V_3 = \left(\frac{S + \sqrt[3]{S^2 s} + \sqrt[3]{Ss^2} + s}{4} \right) L \qquad [9]$$

for cylinder, paraboloid, conoid, and neiloid, respectively (Graves, 1906).

In agreement to equation [2] $S = S_n$ can be defined for equations [6]-[9]. For cylinder, $S = S_0 = S = s$. For frustums of paraboloid, conoid and neiloid, their mean cross sectional areas are respectively

$$\overline{S}_1 = \left(\frac{S + s}{2} \right) \qquad [10]$$

$$\overline{S}_2 = \left(\frac{S + \sqrt{Ss} + s}{3} \right) \qquad [11]$$

$$\overline{S}_3 = \left(\frac{S + \sqrt[3]{S^2 s} + \sqrt[3]{Ss^2} + s}{4} \right) \qquad [12]$$

In the following, it will be shown that equations [7]-[9] are particular cases of a general sectional volume equation related to the generating equation [1] for any positive integer. The case *n=0* deserves a particular discussion given at the end.

RESULTS

Derivation of a general sectional volume equation for classical geometries of tree stem

The main result of this work is shown in the form of a mathematical theorem.

Theorem

If V_n is the volume for a solid of revolution's frustum, of length L, and end cross sectional areas s at $x = x_1$, and S at $x = x_2$, generated by the equation $y^2 = p_n x^n$, where n is a positive integer, then, V_n can be expressed in the form

$$V_n = \left(\frac{\sum_{i=0}^{n} \sqrt[n]{S^{n-i} s^i}}{n+1} \right) L \qquad [13]$$

Proof

If the generating function for a solid of revolution is given by $y^2 = p_n x^n$ then the volume for its frustum from $x = x_1$ to $x = x_2$, given by integral calculus, is

$$V_n = \pi p_n \left[\frac{x_2^{n+1} - x_1^{n+1}}{n+1} \right] \qquad [14]$$

(Stewart, 2002). The relation

$$\left(x_2^{n+1} - x_1^{n+1} \right) = \left(x_2 - x_1 \right) \left(\sum_{i=0}^{n} x_2^{n-i} x_1^{i} \right) \qquad [15]$$

is well known in the mathematical literature (Spiegel and Moyer, 2007). Given that $L = x_2 - x_1$ and, from equation [1],

$$x_2 = \left(S / \pi p_n \right)^{1/n} \qquad x_1 = \left(s / \pi p_n \right)^{1/n}$$

equation [15] takes the form

$$\left(x_2^{n+1} - x_1^{n+1} \right) = \frac{L}{\pi p_n} \left(\sum_{i=0}^{n} S^{(n-i)/n} s^{i/n} \right) \qquad [16]$$

Substituting equation [16] in equation [14], results

$$V_n = \left(\frac{\sum_{i=0}^{n} S^{(n-i)/n} s^{i/n}}{n+1} \right) L \qquad [17]$$

which is exactly equation [13].

DISCUSSION

The general sectional volume equation [13] has been derived for solids of revolution generated by the equation $y^2 = p_n x^n$ for any positive integer n. It can be easily shown that, for $n = 1$, 2, and 3, the sectional volume equations [7]-[9] for frustums of paraboloid, conoid and neilod, are respectively recovered. Also, for $s=0$, basal area S, and $L=H$, their total volumes, $SH/(n+1)$, are obtained. However, as it can be seen in equation [13] a sectional volume equation for the cylinder case $n=0$ cannot be defined. Nevertheless, it is not necessary because the general equation reduces to the cylinder volume equation when $s=S$ for any n. That condition of cylinder volume recovery seems to be necessary for any sectional volume equation. In a proposal to evaluate various sectional methods to estimate butt log volumes Bruce (1982) takes that condition as a guide to select them.

Let us understand the meaning of equation [13]. In agreement to equation [2] it can be written in the form $V_n = S_n L$ where

$$\overline{S}_n = \sum_{i=0}^{n} \sqrt[n]{S^{n-i} s^i} \,/(n+1)$$

should correspond to a general mean cross sectional area. In particular, for equation [10], $\overline{S}_1$, is the arithmetic average of the end cross sectional areas s and S. For equation [11], $\overline{S}_2$ is the arithmetic average of end cross sectional areas, S, s, and their geometric mean SS (Uranga-Valencia, 2008). In general, if X_1, X_2, ... X_n, are the possible values taken by a variable X, for a sample of size n, their geometric mean is a measure of central tendency defined by $\sqrt[n]{X_1 X_2 \cdots X_n}$ (Chapman and Meyer, 1949; Van Laar and Akça, 2007).

The terms $\sqrt[n]{S^{n-i} s^i}$ for $i=0,1,2,..., n$, represent the geometric mean cross sectional areas for, $X_1 = X_2 = ... = Xn\text{-}i = S$ and $X_{n-i+1} = X_{n-i+2}$. $X_{n-i+2} = X_{n-i+i} = X_n = s$. Then, the general mean cross sectional area

$$\overline{S}_n = \sum_{i=0}^{n} \sqrt[n]{S^{n-i} s^i} \,/(n+1)$$

corresponds to the arithmetic average of those geometric means. Although the problem for this work was not originally defined as of statistical nature it turned on a statistical one whose complete analysis is in progress.

An additional property of equation [13] is that it represents a symmetrical function on s and S, for any n, because of

$$\sum_{i=0}^{n} \sqrt[n]{S^{n-i} s^i} = \sum_{i=0}^{n} \sqrt[n]{s^{n-i} S^i}$$

what means that segment volume is independent of its orientation along its axis of rotation. Also, the equations for the standard sectional methods obey that symmetry property. That condition could be another feature to take in account in the proposal of new sectional methods for volume estimation.

The most important contribution of this work is the general sectional volume equation [13] from what known results of the forest measurements field, since more

than a century (Graves, 1906), are particular cases.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author deeply acknowledges Professor Adrian Goodwin for his helpful suggestions. This work was supported by Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, México.

REFERENCES

Avery, T.E. and Burkhart, H.E. 2002. Forest Measurements. Mc Graw Hill. USA.

Brack, C. 1999. Forest Measurement and Modeling [online]. Available from sres-associated.anu.edu.au/mensuration/volume.htm.

Bruce, D. 1982. Butt Log Volume Estimators. Forest Sci. 28(3):489-503.

Chapman, H.H. and Meyer, W.H. 1949. Forest Mensuration. McGraw-Hill. Edition. USA.

Dean, T.J. and Long, J.N. 1986. Validity of Constant-stress and Elastic-instability Principles of Stem Formation in *Pinus contorta* and *Trifolium pratense*. Annals of Botany. 58:833-840.

Diéguez-Aranda, U., Barrio-Anta, M., Castedo-Dorado, F., Ruíz-González, A.D., Álvarez-Taboada, M.F., Álvarez-González, J.G. y Rojo-Albareca, A. 2003. Dendrometría. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Graves, H.S. 1906. Forest Mensuration. John Wiley & Sons. USA.

Inoue, A. 2006. A model for the relationship between form-factors for stem volume and those for stem surface area in coniferous species. J. For. Res. 11:289-294.

Larson, P.R. 1963. Stem Form Development of Forest Trees. For. Sci. Mon. 5.

McMahon, T. 1973. Size and Shape in Biology. Science. 179: 1201-1204.

Spiegel, M.R. and Moyer, R.E. 2007. Algebra Superior. McGraw-Hill. México.

Stewart, J. 2002. Cálculo Trascendentes Tempranas. Thompson Learning. México.

Uranga-Valencia, L.P. 2008. Aplicación del Modelo Cónico Segmentado a los Tipos Dendrométricos Clásicos como Función del Número de Segmentos. M.Sc. thesis, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacána de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán, México.

Van Laar, A. and Akça, A. 2007. Forest Mensuration. Springer. Netherlands.

West, P.W. 2004. Tree and Forest Measurement. Springer-Verlag. Berlín.

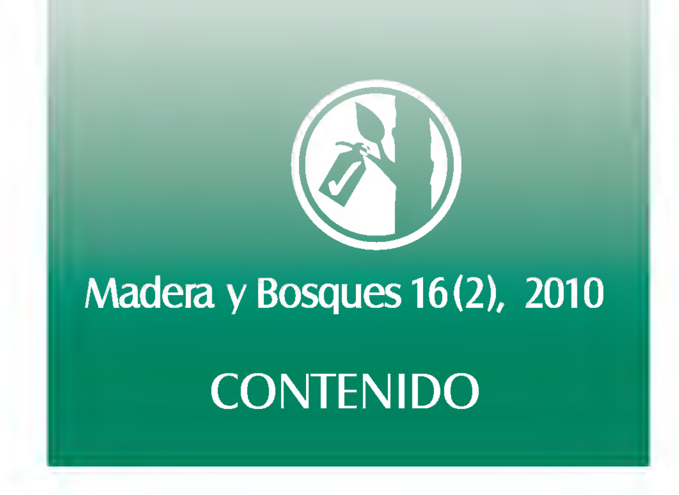
Wood, G.B., Wiant, H. V. Jr., Loy, R.J. and Miles, J.A. 1990. Centroid Sampling: A variant of importance sampling for estimating the volume of sample trees of radiate pine. Forest Ecology and Management. 36:233-243.

Manuscrito recibido el 31 de julio de 2009
Aceptado el 18 de enero de 2010

Este documento se debe citar como: Cruz de León, G. 2010. A general sectional volume equation for classical geometries of tree stem. *Madera y Bosques* 16(2):89-94.

MADERA Y BOSQUES Vol. 16 Núm. 2
Se terminó de imprimir en el mes de junio de 2010
en los talleres de Editorial Cromocolor S.A. de C.V.
Miravalle 703 Col. Portales C.P. 03570, México, D.F.

La edición consta de 300 ejemplares
más sobrantes para reposición.



CONTENIDO